

RELATÓRIO DA
QUALIDADE DO AR
NA GRANDE VITÓRIA

2021



GOVERNO DO ESTADO
DO ESPÍRITO SANTO





GOVERNO DO ESTADO
DO ESPÍRITO SANTO

RELATÓRIO DA **QUALIDADE DO AR** NA GRANDE VITÓRIA **2021**



Cariacica
2022



**GOVERNO DO ESTADO
DO ESPÍRITO SANTO**

José Renato Casagrande
Governador

SECRETARIA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE - SEAMA

Fabrizio Hérick Machado
Secretário



**INSTITUTO ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE
E RECURSOS HÍDRICOS**

Alaimar Ribeiro Rodrigues Fiuza
Diretor Presidente

Caroline Dos Santos Machado
Diretora Técnica

Ficha técnica

Coordenação de Qualidade do Ar e Áreas Contaminadas - CQA

Alex Barcellos Vieira

Me. em Engenharia e Desenvolvimento Sustentável
Coordenador

Elaboração

Solaine Ramos Sampaio

Me. em Engenharia e Desenvolvimento Sustentável

Iris Teixeira Bortolotti Cola

Estatística

Apresentação

A Constituição do Estado do Espírito Santo estabelece no art. 186 que todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente saudável e equilibrado, e que compete ao poder público garantir o monitoramento ambiental com a finalidade de acompanhar a situação real e as tendências de alteração dos recursos naturais e da qualidade ambiental. Nesse sentido, a Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SEAMA) e o Instituto Estadual de Meio Ambiente (IEMA) desempenham papel importante na orientação das ações da sociedade espírito-santense para o uso sustentável dos recursos naturais para a melhoria da qualidade de vida.

O monitoramento dos poluentes atmosféricos para acompanhamento da qualidade do ar é necessário para o planejamento de estratégias e ações contra a degradação ambiental, visando garantir a qualidade de vida das populações expostas.

Nos anos 2000, no processo de licenciamento ambiental das empresas VALE (antiga CVRD) e ArcelorMittal Tubarão (antiga CST), foi imposto a implantação da Rede Automática de Monitoramento da Qualidade do Ar (RAMQAr), com o objetivo de acompanhar as concentrações atmosféricas dos poluentes definidos em legislação.

No ano de 2009, o IEMA implantou a Rede Manual de Poeira Sedimentável (RMPS), para acompanhamento das taxas de deposição deste parâmetro na Região da Grande Vitória, utilizando como referência a metodologia estabelecida na norma americana ASTM D1739-98.

Atualmente a Rede de Monitoramento da Qualidade do Ar da Região da Grande Vitória é composta por 09 estações de monitoramento automático (RAMQAr) e 11 pontos de monitoramento manual de poeira sedimentável (RMPS), distribuídos nos municípios de Cariacica, Vitória, Vila Velha e Serra.

Manter a qualidade do ar adequada, em conformidade com os padrões estabelecidos na legislação vigente, é imprescindível à saúde e qualidade de vida das pessoas. A ininterrupta operação da Rede de Monitoramento da Qualidade do Ar na Região da Grande Vitória garante a constante vigilância sobre a qualidade do ar. Desse modo, o presente relatório apresenta o diagnóstico da qualidade do ar, registrado com base nos dados monitorados pela RAMQAr, no ano de 2021, garantindo ampla divulgação e transparência das informações geradas.

Fabrizio Hérick Machado
Secretário Estadual de Meio Ambiente
SEAMA

Alaimar Ribeiro Rodrigues Fiuza
Diretor Presidente
IEMA

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Localização da Região Metropolitana da Grande Vitória.	9
Figura 2 - Distribuição das estações da RAMQAr no Espírito Santo.....	25
Figura 3 - Distribuição das estações da RAMQAr - Detalhe para a Região da Grande Vitória.	25
Figura 4 - Distribuição espacial dos pontos de coleta de poeira sedimentável na Região da Grande Vitória.	30
Figura 5 - Distribuição espacial dos pontos de coleta de poeira sedimentavel na Região da Grande Vitória	30
Figura 6 – Aparato para coleta de Poeira Sedimentável.	32

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1- Normais climatológicas da estação Vitória (Temperatura e Precipitação) - 1981 - 2010.	13
Gráfico 2 - Precipitação acumulada mensal na estação EMQAr - RGV2 - Carapina.....	35
Gráfico 3 - Temperatura média mensal, máxima e mínima na estação EMQAr - RGV2 - Carapina.	36
Gráfico 4 - Perfil de temperatura ao longo do dia, para as estações em 2021, na EMQAr - RGV2 - Carapina.	37
Gráfico 5 - Pressão atmosférica média mensal, máxima e mínima na estação EMQAr - RGV2 - Carapina.	38
Gráfico 6 - Perfil da radiação solar ao longo do dia, para as estações do ano em 2021, na EMQAr - RGV2 - Carapina.....	39
Gráfico 7 - Radiação solar média mensal e máxima na estação EMQAr - RGV2 - Carapina.	40
Gráfico 8 - Umidade média mensal, máxima e mínima na estação EMQAr - RGV2 - Carapina. ..	41
Gráfico 9 - Distribuição de frequência de ocorrência das classes de vento na estação EMQAr - RGV2 (Carapina) para do ano de 2021.....	42
Gráfico 10 - Rosa dos ventos para estação EMQAr - RGV2 (Carapina)- Ano de 2021.....	42
Gráfico 11 - Rosa dos ventos de janeiro, fevereiro e março de 2020 – EMQAr - RGV2 (Carapina).	44
Gráfico 12 - Rosa dos ventos de abril, maio e junho de 2021 – EMQAr - RGV2 (Carapina).	45
Gráfico 13 - Rosa dos ventos de julho, agosto e setembro de 2021 – EMQAr - RGV2 (Carapina). ..	46
Gráfico 14 - Rosa dos ventos para os meses de outubro, novembro e dezembro de 2021 – EMQAr - RGV2 (Carapina).	47
Gráfico 15 -Número de dias desfavoráveis à dispersão de poluentes na estação EMQAr - RGV2 (Carapina).....	48

Gráfico 16 - Máximas médias de 24h para as concentrações de $MP_{2,5}$ nas estações da RAMQAr.	51
Gráfico 17 - Médias anuais das concentrações de $MP_{2,5}$ nas estações da RAMQAr.	51
Gráfico 18 - Distribuição das médias horárias das concentrações de $MP_{2,5}$ em relação a direção do vento registrado na estação EMQAr – RGV4 (Enseada do Suá).	52
Gráfico 19 - Séries históricas das médias aritméticas anuais das concentrações de $MP_{2,5}$ nas estações da RAMQAr.	53
Gráfico 20 - Máximas médias de 24h das concentrações de MP_{10} nas estações da RAMQAr.	54
Gráfico 21 - Médias aritméticas anuais das concentrações de MP_{10} nas estações da RAMQAr.	54
Gráfico 22 - Distribuição das médias horárias das concentrações de MP_{10} em relação a direção do vento registrado nas estações (a) EMQAr – RGV2, (b) EMQAr – RGV4 e (c) EMQAr – RGV6.	55
Gráfico 23 - Séries históricas das médias aritméticas anuais das concentrações de MP_{10} nas estações da RAMQAr.	56
Gráfico 24 - Taxa de deposição de partículas ($g/m^2 \cdot 30$ dias) nas estações de monitoramento de poeira sedimentável nas estações da RMPS (continua).	58
Gráfico 25 - Série histórica da taxa de deposição de partículas para o período de abril de 2015 a dezembro de 2021 para as estações da RMPS (continua).	61
Gráfico 26 - Máximas médias de 24h das concentrações de SO_2 nas estações da RAMQAr.	67
Gráfico 27 - Médias aritméticas anuais das concentrações de SO_2 nas estações da RAMQAr.	68
Gráfico 28 - Perfil das médias horárias das concentrações de SO_2 nas estações da RAMQAr com relação à direção do vento (gráfico da rosa de poluentes).	69
Gráfico 29 - Séries históricas das médias aritméticas anuais da concentração de SO_2 nas estações da RAMQAr.	69
Gráfico 30 - Máximas médias de 1h das concentrações de NO_2 nas estações da RAMQAr.	70
Gráfico 31 - Médias aritméticas anuais das concentrações de NO_2 nas estações da RAMQAr.	71
Gráfico 32 - Perfil das médias horárias da concentração de NO_2 nas estações da RAMQAr com relação à direção do vento (gráfico de rosa de poluentes).	72
Gráfico 33 - Séries históricas das médias anuais das concentrações de NO_2 nas estações RAMQAr.	73
Gráfico 34 - Máximas médias 8h para as concentrações de O_3 nas estações da RAMQAr.	74
Gráfico 35 - Perfil das médias horárias das concentrações de O_3 nas estações da RAMQAr com relação à direção do vento (gráfico de rosa de poluentes).	75
Gráfico 36 - Máximas das médias de 1h das concentrações de CO nas estações da RAMQAr.	76
Gráfico 37 - Máximas das médias de 8h das concentrações de CO nas estações da RAMQAr.	76
Gráfico 38 - Perfil das médias horárias da concentração de CO nas estações da RAMQAr com relação à direção do vento (gráfico da rosa de poluentes).	77
Gráfico 39 - Séries históricas das médias anuais das concentrações de CO nas estações RAMQAr.	78
Gráfico 40 - Distribuição anual do IQAr por estações da RAMQAr.	78
Gráfico 41 - Poluentes mais significativos para composição do IQAr por estação da RAMQAr.	79

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Densidade demográfica na RMGV.....	10
Tabela 2 - Padrões nacionais e estaduais de qualidade do ar e diretrizes da OMS.	20
Tabela 3 - Concentração dos poluentes ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) para determinação dos níveis de atenção, alerta e emergência.	22
Tabela 4 - Descrição das classes, índices e valores limites de concentração para determinação do IQAr.....	23
Tabela 5 - Dados de localização das estações da RAMQAr.....	24
Tabela 6 - Localização dos pontos de monitoramento de poeira sedimentável.....	31
Tabela 7 - Valores das máximas médias de 24h e da MAA das concentrações de $\text{MP}_{2,5}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).	50
Tabela 8 - Registro de ultrapassagens às médias de curta e longa duração para o parâmetro $\text{MP}_{2,5}$	52
Tabela 9 - Valores das máximas médias de 24h e da MAA das concentrações de MP_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).	53
Tabela 10 - Registro de ultrapassagens às médias de curta e longa duração para o parâmetro MP_{10}	55
Tabela 11 - Valores das máximas médias de 24 horas e da MAA de concentração de SO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).	67
Tabela 12 - Número ultrapassagens aos valores limites de concentração de SO_2	68
Tabela 13 - Valores das máximas médias horárias e da MAA das concentrações de NO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).	70
Tabela 14 - Máximas médias de 8h das concentrações de O_3 em ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).....	73
Tabela 15 - Número de médias de 8 horas que ultrapassaram os valores limites de concentração de O_3	74
Tabela 16 - Máximas horárias de 1h e 8h e da MAA das concentrações de CO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).	75

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Fontes, características e efeitos dos principais poluentes atmosféricos.....	16
Quadro 2 - Descrição da área de influência das estações da RAMQAr.	26
Quadro 3 - Parâmetros previstos para serem monitorados pelas estações da RAMQAr.	27
Quadro 4 - Descrição dos critérios de representatividade dos parâmetros.	33

Sumário

1	Introdução	8
2	Caracterização da Região Metropolitana	9
	da Grande Vitória	9
2.1	Aspectos Sociodemográficos	10
2.2	Aspectos Socioeconômicos	11
2.3	Clima Local	11
3	Poluição Atmosférica	15
3.1	Poluentes Atmosféricos	15
3.2	Regulamentação Sobre Qualidade do Ar	17
3.3	Padrões da Qualidade do Ar	19
3.4	Índice de Qualidade do Ar	22
4	Monitoramento da Qualidade do Ar	24
4.1	Rede Automática de Qualidade do Ar (RAMQAr)	24
4.1.1	Monitor de Particulado	28
4.1.2	Monitor de Dióxido de Enxofre (SO ₂)	28
4.1.3	Monitor de Óxidos de Nitrogênio (NO _x , NO, NO ₂)	28
4.1.4	Monitor de Monóxido de Carbono (CO)	29
4.1.5	Monitor de Ozônio (O ₃)	29
4.2	Rede Manual de Monitoramento de Poeira Sedimentável (RMPS)	29
4.3	Métodos de Tratamento de Dados	32
4.3.1	Representatividade dos Dados	33
5	Dados Meteorológicos	35
5.1	Precipitação	35
5.2	Temperatura	36
5.3	Pressão Atmosférica	37
5.4	Radiação Solar	38
5.5	Umidade	40
5.6	Ventos	41
5.6.1	Rosa dos Ventos	42
5.6.2	Dias Desfavoráveis à Dispersão de Poluentes	48
6	Qualidade do Ar	50
6.1	Material Particulado (MP)	50
6.1.1	Partículas Respiráveis (MP _{2,5})	50
6.1.2	Partículas Inaláveis (MP ₁₀)	53
6.1.3	Poeira Sedimentável (PS)	57
6.2	Dióxido de Enxofre (SO ₂)	67
6.3	Dióxido de Nitrogênio (NO ₂)	70
6.4	Ozônio (O ₃)	73
6.5	Monóxido de Carbono (CO)	75
6.6	Índice da Qualidade do Ar (IQAr)	78
7	Considerações Finais	80
8	Referências	82

1 Introdução

Dados divulgados pela Organização Mundial da Saúde (OMS) mostram que 91% da população mundial está exposta a concentrações de poluentes superiores às diretrizes de referência de qualidade do ar (OMS, 2022). Cerca de três milhões de mortes por ano estão relacionadas à exposição à poluição do ar em ambientes externos (OMS, 2016). Os níveis de poluição atmosférica são caracterizados pela concentração das substâncias poluentes presentes no ar, sendo o monitoramento destas concentrações definidos pela sua importância à saúde e pelos recursos disponíveis para seu acompanhamento.

A Região Metropolitana da Grande Vitória (RMGV) é uma região urbana altamente industrializada e em processo de expansão, sendo a qualidade do ar afetada pela emissão de poluentes provenientes de diversas fontes tais como, veículos automotores, grandes empreendimentos industriais, do setor de logística (complexo portuário e aeroporto) entre outras. A qualidade do ar é diretamente influenciada pela distribuição e intensidade das fontes de emissões de poluentes atmosféricos, no entanto, as condições meteorológicas e topografia são determinantes para sua dispersão na atmosfera.

O monitoramento da qualidade do ar realizado pela Rede de Monitoramento da Qualidade do Ar do IEMA está presente em 04 dos 07 municípios da RMGV. Tais pontos de monitoramento foram definidos de forma acompanhar os impactos na qualidade do ar causados pelas fontes mais significativas de emissão de poluentes atmosféricos na RMGV.

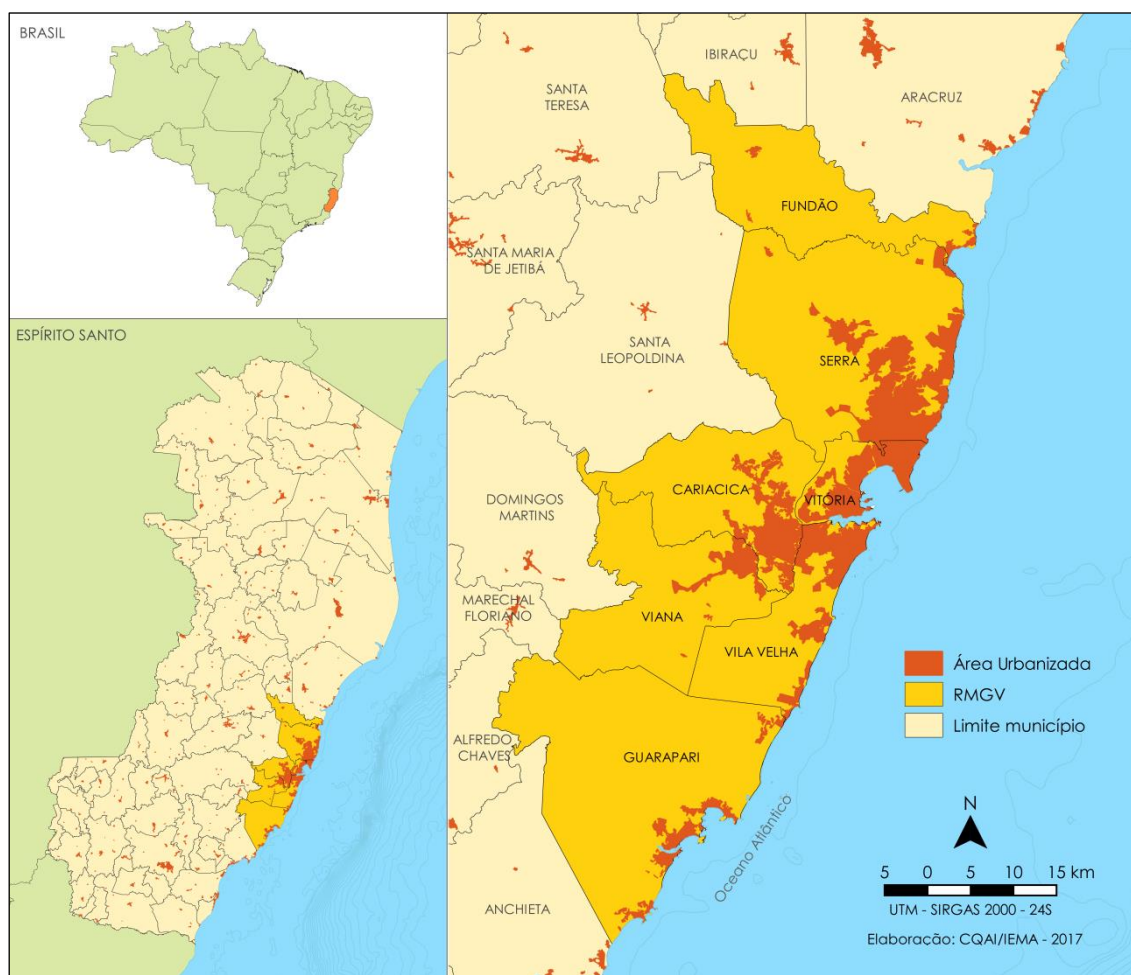
O objetivo deste relatório é apresentar os resultados do monitoramento da qualidade do ar obtidos com a operação da Rede de Monitoramento da Qualidade do ar no ano de 2021.

2 Caracterização da Região Metropolitana da Grande Vitória

Para descrição das características da região onde estão instaladas as estações de monitoramento da qualidade do ar, foi utilizado uma abordagem mais ampla, tendo como referência a região geográfica oficialmente constituída, qual seja a Região Metropolitana da Grande Vitória (RMGV).

A Região Metropolitana da Grande Vitória, instituída pela Lei Complementar nº 58 de 21/02/1995, abrange os municípios de Cariacica, Fundão, Guarapari, Serra, Viana, Vila Velha e Vitória. Seu território possui 2.316,49 km² com área urbana de 672,57 km² (IJSN, 2011). Localiza-se na região sudeste do Estado, sendo banhado a Leste pelo Oceano Atlântico, conforme apresentado na Figura 1.

Figura 1- Localização da Região Metropolitana da Grande Vitória.



O relevo da RMGV é caracterizado por maciços rochosos, localizados nas porções oeste e sudoeste, correspondendo aos municípios de Cariacica, Guarapari e Viana, além de baixadas e planícies que se distribuem irregularmente por toda zona costeira da RMGV.

O uso e ocupação do solo são diversificados, sendo constituído por grandes extensões de pastagens, fragmentos de mata atlântica, restingas, várzeas, manguezais e áreas urbanizadas, que correspondem a 13% de ocupação da área total da Região Metropolitana. A concentração urbana existente nesta região representa 55% da área urbanizada de todo Estado (IJSN, 2011).

2.1 Aspectos Sociodemográficos

Em 2021 a RMGV tinha uma população estimada de 2.033.067 habitantes que representava 49,48% da população estimada do Espírito Santo.

Conforme apresentado na Tabela 1, estima-se que o município de Vila Velha seja o mais populoso da Região Metropolitana (25,02%), seguido por Serra (26,40%), Cariacica (19,01%) e Vitória (18,18%). A população dos municípios de Guarapari, Viana e Fundão representam uma estimativa de 11,39% do total das habitantes existentes na RGMV.

A densidade demográfica estimada nesta região é de 806,49 hab/km², sendo o município de Vitória com a maior densidade demográfica (3.827,94 hab/km²) e Fundão a menor (77,51 hab/km²) (IBGE, 2021).

Tabela 1 - Densidade demográfica na RMGV.

Local	População			Área (km ²)	Densidade Demográfica (hab/km ²)
	Total	RMGV (%)	ES (%)		
Vila Velha	508.655	25,02	11,79	210,225	2.419,57
Serra	536.765	26,40	11,64	741,85	723,55
Cariacica	386.495	19,01	9,92	279,718	1.381,73
Vitória	369.534	18,18	9,33	96,536	3.827,94
Guarapari	128.504	6,32	3	591,815	217,14
Viana	80.735	3,97	1,85	312,279	258,53
Fundão	22.379	1,10	0,48	288,724	77,51
RMGV	2.033.067	100	49,48	2.520,89	806,49
Espírito Santo	4.108.508	-	-	46.086,91	89,15

Fonte: IBGE (2022).

A Região Metropolitana tem aproximadamente 67% de cobertura de esgoto, sendo que a capital Vitória conta com maior índice de cobertura (89%) e o município de Cariacica o menor índice (45%) (CESAN, 2017). Cerca de 90% da população reside em áreas onde o lixo urbano é coletado regularmente. A taxa de analfabetismo das pessoas de 15 anos ou mais de idade é de 4,7% (DATASUS, 2010), sendo 24,4% dessa população identificada como anafabeto funcional.

2.2 Aspectos Socioeconômicos

Os resultados do indicador no quarto trimestre de 2021 mostram que a atividade econômica do Estado do Espírito Santo registrou crescimento em todas as medidas de desempenho consideradas. Em linhas gerais, o PIB capixaba cresceu +6,7% no acumulado ao longo do ano, sendo o primeiro resultado positivo, após dois anos consecutivos de queda no fechamento dos resultados anuais (2019 e 2020) (IJSN, 2021).

No acumulado do ano, a expansão de +6,7% no nível de atividade econômica estadual é explicado pela combinação das altas no Comércio varejista ampliado (+13,6%), Serviços (+10,0%) e Indústria geral (+4,9%) (IJSN, 2021).

A contribuição positiva do Comércio varejista ampliado foi influenciada pelo crescimento no Varejo restrito (+6,8%) e em Veículos, motocicletas, partes e peças (+25,2%). Na Indústria, o aumento foi puxado pela Indústria de Transformação, que avançou +15,2%, enquanto a Indústria Extrativa declinou -11,5%. Já nos Serviços, a alta foi influenciada pela expansão de todos os segmentos, com acréscimos de +23,8% em Serviços prestados às famílias e crescimento de +13,0% em Transportes, serviços auxiliares aos transportes e correio.

Em razão da expansão do nível de atividade econômica conjugada à elevação do nível de preços, a estimativa do PIB nominal do estado do Espírito Santo, acumulada em quatro trimestres, alcançou o montante de R\$ 151,7 bilhões, maior patamar da série histórica. Considerando apenas o quarto trimestre de 2021, o valor foi de R\$ 39,9 bilhões, o maior registrado para um único trimestre (IJSN, 2021).

No acumulado de quatro trimestres, tanto o estado como o país mantiveram a variação acumulada positiva, alcançada a partir do segundo trimestre, sendo que o Espírito Santo se manteve em patamar mais elevado. No quarto trimestre de 2021, o crescimento capixaba foi de +6,7% contra +4,6% do Brasil. Por essa métrica, após o início da pandemia de Covid19, essa foi a terceira vez seguida que o crescimento capixaba superou o resultado do país.

2.3 Clima Local

O clima e as condições meteorológicas de uma região são fortemente condicionados pela localização geográfica (latitude) e relevo que, em ação conjunta com os grandes sistemas atmosféricos, controlam a distribuição pluviométrica, evaporação, temperatura, umidade do ar e regime de ventos da região (VIANELLO e ALVES, 1991).

A RMGV está localizada entre os paralelos de 10° e 23°26'S, ou seja, na zona tropical, sofrendo influência tanto de sistemas tropicais como de latitudes médias, com estação

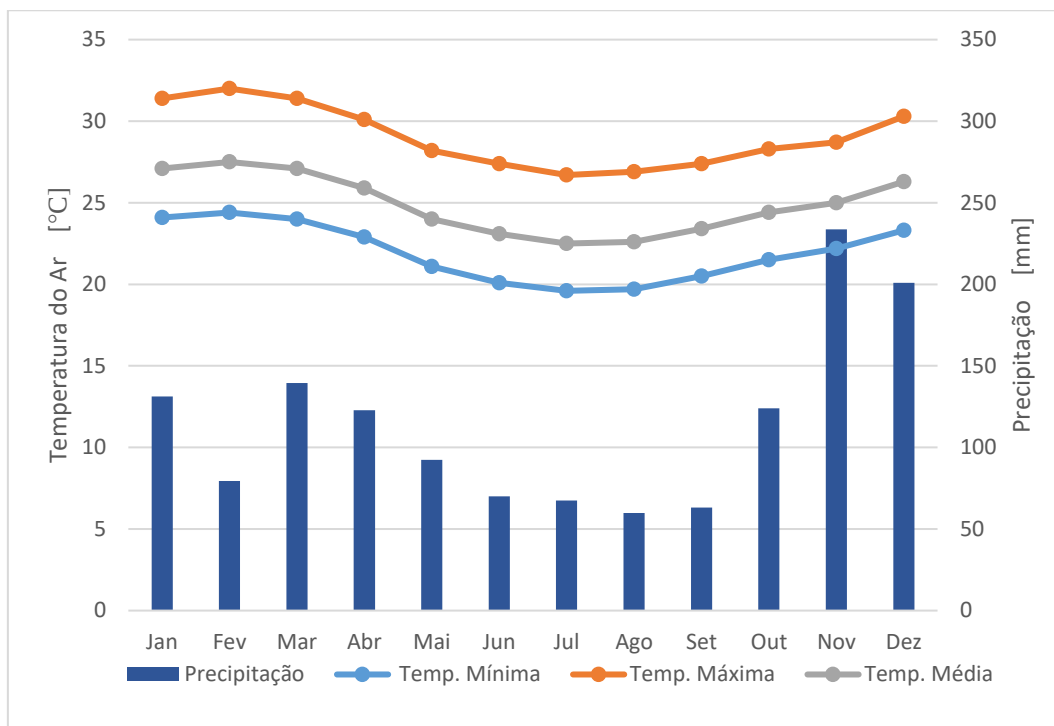
seca bem definida no inverno e estação chuvosa de verão com chuvas convectivas. Essa região possui uma característica climática diversificada devido a sua topografia, sua posição geográfica e aspectos dinâmicos da atmosfera que incluem os sistemas meteorológicos de micro, meso e macro escalas e que atuam direta ou indiretamente no regime pluvial (MINUZZI *et al.*, 2007).

Os sistemas de classificações climáticas (SCC) foram elaborados com o intuito de analisar e definir os climas de diferentes regiões levando em consideração elementos climáticos diferentes ao mesmo tempo, otimizando a troca de informações e análises posteriores para diferentes propósitos. De acordo com a classificação climática de Köppen (Köppen, 1936), o Espírito Santo possui duas tipologias climáticas que variam também de acordo com o relevo local. Na baixada litorânea do Espírito Santo predomina o clima tropical quente com estação seca no inverno (Aw) e na região serrana o clima é tropical de altitude (Cwb). A classificação dos tipos climáticos de Köppen considera a sazonalidade e os valores médios anuais e mensais de temperatura do ar e de precipitação.

Por estar situada na região litorânea, a RMGV apresenta clima tropical quente (Aw), possuindo inverno ameno e seco, e verão chuvoso e quente. O período quente se estende aproximadamente de outubro a abril, com maior intensidade em dezembro e janeiro. No inverno, a temperatura média mensal mais baixa ocorre em julho, sendo a sensação de frio verificada esporadicamente quando há ocorrência de frentes frias.

O Gráfico 1 apresenta as normais climatológicas (1991 a 2020) das variáveis meteorológicas, precipitação acumulada, temperatura média, temperatura máxima e temperatura mínima, monitoradas pela estação climatológica Vitória (Código 83648 - Lat 20°19'S/ Lon 40°19'W) do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) - (INMET, 2022).

Vale ressaltar que a Organização Meteorológica Mundial (OMM) define o termo normal climatológica como valores médios calculados para um período relativamente longo e uniforme, compreendendo no mínimo três décadas consecutivas (WMO, 1984).

Gráfico 1- Normais climatológicas da estação Vitória (Temperatura e Precipitação) - 1991 - 2020.

Fonte: INMET (2022).

Observa-se que, historicamente, a temperatura média na cidade de Vitória não varia consideravelmente ao longo do ano, sendo a temperatura média anual igual a 24,9°C, com leve queda nos meses do inverno e suave aumento durante o verão. Avaliando os valores extremos da temperatura do ar, observa-se que o mês de julho é, o mês mais frio, alcançando a média das temperaturas mínimas de 19,60°C, e o mês de fevereiro é o mês, historicamente, mais quente com média das temperaturas máximas igual a 32°C.

Em relação à precipitação, nota-se que o inverno é o período mais seco, sendo que no mês de agosto ocorre a menor incidência de precipitação (59,9mm). Essa característica climatológica da região durante o inverno ocorre devido a influência dos sistemas de alta pressão subtropical localizados, climatologicamente, em torno da latitude de 30°C nos principais oceanos do planeta. No Atlântico Sul, a Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) é de grande importância para o clima da América do Sul e afeta o clima do Brasil tanto no inverno quanto no verão. Durante o período de inverno, a ASAS inibe a entrada de frentes e favorece a formação de inversão térmica, concentrando os poluentes nas camadas mais próximas à superfície dos principais centros urbanos das regiões sul e sudeste (Bastos e Ferreira, 2008). A dinâmica desse sistema também favorece a formação de nevoeiros e geadas nas regiões sul e sudeste. Conforme as normais climatológicas a precipitação média anual é de 1.384,4 mm.

A partir do mês de outubro, inicia-se o período chuvoso na região, o qual se estende até meados de abril. Nessa época do ano, a atuação dos sistemas frontais e de zonas de convergência de umidade favorece o aumento de precipitação. O mês de novembro é o que possui maior ocorrência de eventos de chuva, com média de precipitação acumulada mensal de 233,6 mm. Esse comportamento da precipitação durante o final da primavera e verão ocorre porque o sistema de alta pressão encontra-se sobre a região central do oceano Atlântico. Nessa época do ano, uma banda de nebulosidade orientada no sentido noroeste-sudeste desenvolve-se periodicamente sobre o sudeste do Brasil, coincidindo com a estação chuvosa da região. A permanência dessa banda convectiva por vários dias caracteriza a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). A ZCAS e os sistemas frontais que se deslocam sobre a região sudeste e em seguida sobre o oceano atingem a porção oeste da alta subtropical e, como resultado, esse sistema de alta pressão é frequentemente dividido, ficando em média, enfraquecido quando comparado à situação do inverno (CAVALCANTI *et al.*, 2009)

Ao longo do litoral dos estados da região sudeste os ventos são predominantemente de NE favorecendo o transporte de umidade do oceano Atlântico Equatorial para o ramo oceânico da ZCAS. As características do regime de vento na RMGV são influenciadas também por circulações de vento locais bastante distintos, como as brisas marinhas e terrestres (devido à proximidade com o oceano) e brisas de vale e montanha (devido à topografia acidentada), configurando variações significativas na meso e microescala. Em escala sinótica os principais fenômenos meteorológicos que influenciam a variabilidade do tempo na RMGV são: Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), Sistemas Frontais (SF) e o Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) (SANT'ANNA NETO, 2005; VAREJÃO-SILVA, 2006; MENDONÇA e DANNI-OLIVEIRA, 2007).

3 Poluição Atmosférica

A Resolução CONAMA Nº 491, de 19/11/2018, define como poluente atmosférico qualquer forma de matéria em quantidade, concentração, tempo ou outras características, que tornem ou possam tornar o ar impróprio ou nocivo à saúde, inconveniente ao bem-estar público, danoso aos materiais, à fauna e flora ou prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade ou às atividades normais da comunidade. Essa definição é bastante ampla, pois considera não somente os efeitos deletérios sobre a saúde, fauna, flora e bens materiais, mas também o conceito mais subjetivo de bem-estar público. Assim, são importantes para o estudo da qualidade do ar as substâncias que geram danos à saúde, fauna e flora e as substâncias que estão relacionadas ao incômodo da população, tais como compostos odorantes, por exemplo.

Este capítulo tem o objetivo de fornecer as informações básicas sobre os parâmetros de controle ligados à qualidade do ar, descrevendo principais poluentes atmosféricos e a legislação aplicável a poluição do ar.

3.1 Poluentes Atmosféricos

No Quadro 2 é apresentado a descrição dos principais poluentes atmosféricos, suas fontes e efeitos.

Quadro 1 - Fontes, características e efeitos dos principais poluentes atmosféricos.

Poluente	Características	Fontes principais	Efeitos gerais sobre a saúde	Efeitos gerais ao meio ambiente
Monóxido de Carbono (CO)	Gás incolor, inodoro e insípido	Combustão incompleta de combustíveis fósseis (veículos automotores principalmente) e outros materiais que contenham carbono na sua composição	Combina-se rapidamente com a hemoglobina ocupando o lugar do oxigênio, podendo levar a morte por asfixia. A exposição crônica pode causar prejuízos ao sistema nervoso central, cardiovascular, pulmonar e outros. Também pode afetar fetos causando peso reduzido no nascimento e desenvolvimento pós-natal retardado	-
Dióxido de Enxofre (SO ₂)	Gás incolor com forte odor (semelhante ao produzido na queima de palitos de fósforo)	Processos que utilizam queima de óleo combustível, refinaria de petróleo, veículos a diesel, polpa e papel	A inalação, mesmo em concentrações muito baixas, provoca espasmos passageiros dos músculos lisos dos bronquíolos pulmonares. Em concentrações progressivamente maiores, causam o aumento da secreção mucosa nas vias respiratórias superiores, inflamações graves da mucosa e redução do movimento ciliar do trato respiratório. Pode, ainda, aumentar a incidência de rinite, faringite e bronquite	Em certas condições, o SO ₂ pode transformar-se em trióxido de enxofre (SO ₃) e, com a umidade atmosférica, transformar-se em ácido sulfúrico, sendo assim um dos componentes da chuva ácida
Hidrocarbonetos (HC)	Gases e vapores com odor desagradável (similar à gasolina ou diesel)	Combustão incompleta e evaporação de combustíveis e outros produtos voláteis	Causa irritação aos olhos, nariz, pele e trato respiratório superior. Além disso, vários hidrocarbonetos são considerados carcinogênicos e mutagênicos	Participam da formação de oxidantes fotoquímicos na atmosfera, juntamente com os óxidos de nitrogênio (NO _x)
Óxidos de Nitrogênio (NO _x)	Gases	Combustões em veículos automotores, indústrias, usinas térmicas que utilizam óleo ou gás e incineradores	O NO ₂ é altamente tóxico ao homem, pois aumenta sua susceptibilidade aos problemas respiratórios em geral. Além disso, é irritante às mucosas e pode nos pulmões ser transformado em nitrosaminas (algumas das quais são carcinogênicas)	Pode levar a formação da chuva ácida e consequentemente danos à vegetação e agricultura. Além disso, contribui para formação do ozônio na troposfera; para o aquecimento global; formação de compostos quimiotóxicos e alteração da visibilidade
Ozônio (O ₃)	Gás incolor e inodoro nas concentrações ambientais, sendo o principal componente do "smog" fotoquímico	Formação, na troposfera, a partir da reação dos hidrocarbonetos e óxidos de nitrogênio na presença de luz solar	Provoca danos na estrutura pulmonar, reduzindo sua capacidade e diminuindo a resistência às infecções. Causa ainda, o agravamento de doenças respiratórias, aumentando a incidência de tosse, asma, irritações no trato respiratório superior e nos olhos	É agressivo às plantas, agindo como inibidor da fotossíntese e produzindo lesões características nas folhas
Material Particulado	Pode ser sólido ou líquido, de granulometria, forma e composição química variada de acordo com sua fonte de origem e os processos físicos e químicos de transformação aos quais foi submetido durante seu transporte na atmosfera	Pilhas de estocagem de material granulado, processos de pelotização e siderurgia, cimenteiras e atividades da construção civil, resuspensão de partículas depositadas ou constituintes de vias pavimentadas e não pavimentadas, veículos (escapamentos e frenagem) e fontes naturais como o mar que emite partículas de sais, além das queimadas, por exemplo	Para as partículas mais finas os efeitos estão predominantemente relacionados aos sistemas respiratórios e cardiovasculares e a sensibilidade está associada às condições individuais de saúde e faixa etária, embora toda a população seja afetada. De acordo com a OMS (WHO, 2006), não existem evidências suficientes que indiquem um limite abaixo do qual não ocorram efeitos à saúde humana. Os efeitos à saúde podem ser causados por exposição de longo ou curto prazo ao poluente. No caso das partículas mais grossas as reações mais comuns dizem respeito à impossibilidade de gozo pleno da propriedade e ao desconforto causado pelo incômodo da sujidade gerada pela deposição de material sobre as superfícies de uso cotidiano	Alteração da visibilidade; alteração no balanço de nutrientes de lagos, rios e do solo; danificação da vegetação e alteração na diversidade do ecossistema. Além disso, pode causar danos estéticos (manchas e danificações de rochas e outros materiais)

3.2 Regulamentação Sobre Qualidade do Ar

No âmbito internacional, dentro do sistema da Organização das Nações Unidas (ONU), a Organização Mundial de Saúde (OMS) representa o organismo diretor e coordenador nos assuntos relacionados à saúde. O objetivo da OMS é promover a agenda da pesquisa científica na área da saúde, diagnosticar as tendências mundiais e auxiliar o estabelecimento de normas e diretrizes, entre outros.

A OMS publicou, pela primeira vez em 1987, relatório contendo diretrizes para qualidade do ar relativas aos poluentes: partículas totais em suspensão, ozônio, dióxido de enxofre e dióxido de nitrogênio. Estas diretrizes estão baseadas na compilação de estudos científicos realizados no mundo. As diretrizes de qualidade do ar foram projetadas para oferecer orientações aos líderes políticos, visando a redução dos impactos da poluição atmosférica sobre a saúde. Essas diretrizes foram revisadas nos anos de 1997, 2005 e, recentemente, em setembro de 2021, com base no conhecimento científico disponível à época.

Considerando que as diretrizes mais recentes da OMS foram publicadas no final de 2021, este relatório terá suas análises baseadas nas diretrizes publicadas em 2005.

As diretrizes da OMS para qualidade do ar não têm caráter regulatório, para que aconteça, estas devem ser recepcionadas no aparato legal dos locais onde se pretende utilizá-las na forma de padrões de qualidade do ar, por exemplo.

Segundo a OMS a formulação de padrões de qualidade do ar deve observar o necessário equilíbrio entre os riscos à saúde, a viabilidade tecnológica e as condições econômicas, políticos e sociais do local. Ainda, esta formulação depende do nível de desenvolvimento e da capacidade local para a gestão da qualidade do ar (WHO, 2006).

Em nível nacional, os padrões de qualidade do ar são estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 491/2018 publicada em novembro de 2018. Tal Resolução está estruturada considerando como referência as diretrizes da Organização Mundial da Saúde (OMS).

Já em nível Estadual, o Governo do Estado do Espírito Santo, por meio do Decreto nº 3.463-R, de 16/12/2013, estabeleceu os padrões estaduais de qualidade do ar. Com exceção aos parâmetros "fumaça" e "chumbo" o Decreto Estadual contempla todos os parâmetros estabelecidos pela CONAMA nº 491/2018, sendo inclusive mais restritivo em alguns casos, além de também estabelecer padrões para Poeira Sedimentável (PS).

Neste Decreto, como na Resolução CONAMA, está previsto o conceito de Metas Intermediárias (MI), que são valores temporários a serem cumpridos em etapas, visando à melhoria gradativa da qualidade do ar, até o atingimento dos Padrões Finais (PF), que

representam as metas de longo prazo. Para cada poluente foram previstas três metas intermediárias visando o gradual alcance ao PF, estabelecido com base nas diretrizes da OMS para os poluentes de interesse.

Os padrões e diretrizes citadas são estabelecidos com base nos potenciais danos causados à saúde. Entretanto, para poeira sedimentável (PS) estão associadas ao incômodo causado às populações expostas. Sob o aspecto do incômodo, as reações mais comuns dizem respeito à impossibilidade de gozo pleno da propriedade e ao desconforto causado pela sujidade gerada pela deposição da poeira sedimentável sobre as superfícies de uso cotidiano (VALLACK e SHILLITO, 1998; FARFEL et al., 2005). Este poluente, conforme observado por Conti et al. (2009), incluem majoritariamente frações de partículas que variam entre 5 a 100 µm.

Além do incômodo, as partículas podem depositar sobre a vegetação, os materiais, edificações e monumentos ocasionando a modificação das propriedades óticas das folhas e a consequente diminuição da atividade fotossintética das plantas, a descoloração e a decomposição de materiais de construção, entre outros efeitos (HU et al., 2006).

Os valores limites adotados para a taxa de deposição de PS variam entre os diferentes países, e muitas vezes entre regiões de um mesmo país; por exemplo, nos EUA e Canadá, existem padrões diferentes para os estados. De maneira geral, os valores limites adotados para a taxa de deposição de PS estão entre 3,0 e 15 g/m²/30 dias, variando de acordo com o uso e ocupação do solo (áreas residenciais, comerciais ou industriais). Observa-se que a concentração de valores para os padrões de PS está entre 5,0 e 10 g/m²/30 dias, tais como aqueles adotados, por exemplo, em países como Argentina, Estados Unidos, Espanha, Finlândia e Austrália (VALLACK e SHILLITO, 1998; DECNY, 2009; DEQM, 2007).

No Brasil, além do Estado do Espírito Santo, verifica-se que apenas do Estado de Minas Gerais, por meio da Deliberação Normativa COPAM nº 01 de 26 de maio de 1981, instituiu padrões para PS, sendo 10 g/m²/30 dias para áreas industriais e 5 g/m²/30 dias nas demais áreas.

Outros poluentes também podem estar presentes na atmosfera, entretanto, não estão contemplados em padrões de qualidade do ar. A ausência de padrões de qualidade para alguns poluentes atmosféricos pode ser justificada por: (i) não existirem evidências científicas suficientes para correlacionar as concentrações ambientais dos poluentes à efeitos à saúde e (ii) dificuldades técnicas na amostragem ou medição do poluente.

3.3 Padrões da Qualidade do Ar

Os padrões de qualidade do ar, segundo a Resolução CONAMA nº 491/2018, são um dos instrumentos de gestão da qualidade do ar, definidos como o valor de concentração de um poluente específico na atmosfera, associado a um intervalo de tempo de exposição, para que o meio ambiente e a saúde da população sejam preservados em relação aos riscos de danos causados pela poluição atmosférica. A abordagem utilizada nesta Resolução, assim como no Decreto Estadual nº 3.463-R/2013, foi a adoção de padrões intermediários definidos em quatro etapas (PI-1- PI-2, PI-3 e PF), com a entrada do padrão PI-1 na publicação das normas.

Os valores estabelecidos na legislação nacional, estadual e diretrizes estabelecidas pela OMS podem ser observadas na Tabela 2.

Tabela 2 - Padrões nacionais e estaduais de qualidade do ar e diretrizes da OMS.

					MP _{2,5}	PM ₁₀	PTS	PS	SO ₂	NO ₂	O ₃	CO	Fumaça	Chumbo
					(µg/m³)						(ppm)	(µg/m³)		
Padrão Nacional (CONAMA nº 491/2018)	Exposição	Curta	Padrão	PI-1	60 24h	120 24h	-	-	125 24h	260 1h²	140 8h³	-	120 24h	-
				PI-2	50 24h	100 24h	-	-	50 24h	240 1h²	130 8h³	-	100 24h	-
				PI-3	37 24h	75 24h	-	-	30 24h	220 1h²	120 8h³	-	75 24h	-
				PF	25 24h	50 24h	240 24h	-	20 24h	200 1h²	100 8h³	9 8h³	50 24h	-
		Longa		PI-1	20 Ano¹	40 Ano¹	-	-	40 Ano¹	60 Ano¹	-	-	40 Ano¹	-
				PI-2	17 Ano¹	35 Ano¹	-	-	30 Ano¹	50 Ano¹	-	-	35 Ano¹	-
				PI-3	15 Ano¹	30 Ano¹	-	-	20 Ano¹	45 Ano¹	-	-	30 Ano¹	-
				PF	10 Ano¹	20 Ano¹	80 Ano⁴	-	-	40 Ano¹	-	-	20 Ano¹	0,5 Ano¹
Metas e Padrão Estadual (Decreto nº 3.463-R/2013)	Exposição	Curta	M11-ES	-	120 24h	180 24h	14	60 24h	240 1h	140 8h	-	-	-	
			M12-ES	50 24h	80 24h	170 24h	-	40 24h	220 1h	120 8h	-	-	-	
			M13-ES	37 24h	60 24h	160 24h	-	30 24h	210 1h	110 8h	-	-	-	
			PF-ES	25 24h	50 24h	150 24h	-	20 24h	200 1h	100 8h	10.000 8h 30.000 1h	-	-	
		Longa	M11-ES	-	45 Ano²	65 Ano³	-	40 Ano²	50 Ano²	-	-	-	-	
			M12-ES	20 Ano²	33 Ano²	63 Ano³	-	30 Ano²	45 Ano²	-	-	-	-	
			M13-ES	15 Ano²	25 Ano²	62 Ano³	-	20 Ano²	42 Ano²	-	-	-	-	
			PF-ES	10 Ano²	20 Ano²	60 Ano³	-	-	40 Ano²	-	-	-	-	
Diretriz OMS(2005)	Exposição	Curta			25 24h	50 24h	-	-	20 24h	200 1h	100 8h	10.000 8h	-	-
						500 10min				30.000 1h				
		Longa			10 Ano²	20 Ano²	-	-	-	40 Ano²	-	-	-	-

¹ não pode ser excedido mais que uma vez por ano.

² Média Aritmética Anual - MAA.

³ Média Geometria Anual - MGA.

Tanto as diretrizes da OMS, quanto os padrões nacionais e estaduais de qualidade do ar, apresentam valores referenciais associados aos efeitos à saúde causados pela curta e longa exposição a cada poluente. Tais padrões visam prevenir efeitos agudos e crônicos a saúde das populações expostas.

Para os poluentes SO₂, O₃ e CO a OMS estabelece diretriz apenas para valores referenciais para curta exposição. Segundo esta Organização, não é necessário estabelecer uma diretriz para valores de concentração de SO₂ relacionados aos efeitos causados por longa exposição, pois valores suficientemente baixos de concentração de média diária garantiriam um baixo valor da média anual (OMS, 2005).

Para o ozônio, as evidências científicas sobre os efeitos à saúde relacionado à longa exposição a este poluente ainda não são suficientes para subsidiar a indicação de diretriz para média de longa exposição (OMS, 2005).

Quanto ao CO, estudos científicos indicam que durante exposição a concentrações invariáveis de CO, a concentração de carboxihemoglobina no sangue aumenta rapidamente e atinge regime permanente após 6 a 8 horas de exposição sendo que qualquer valor calculado com tempo de média igual a 8 horas seria representativo de exposições mais longas (OMS, 2000).

Além dos padrões de qualidade do ar, a Resolução CONAMA nº 491/2018 estabelece níveis de qualidade do ar para que estados e municípios estabeleçam planos de emergência para episódios críticos de poluição do ar, visando a prevenção de graves e iminentes riscos à saúde da população. Um episódio crítico de poluição do ar está definido como a presença de altas concentrações de poluentes na atmosfera, em curto período de tempo, resultante da ocorrência de condições meteorológicas desfavoráveis à dispersão dos mesmos. São três, estes níveis: atenção, alerta e emergência. O estabelecimento dos desses níveis estão também previstos no Decreto Estadual nº 3.463-R/2013.

Para a definição desses três níveis são considerados os seguintes parâmetros: concentrações de partículas inaláveis, partículas respiráveis, dióxido de enxofre, dióxido de nitrogênio, ozônio, monóxido de carbono, bem como as condições meteorológicas. Os níveis de atenção, alerta ou emergência são declarados quando, prevendo-se a manutenção das emissões bem como as condições meteorológicas desfavoráveis à dispersão dos poluentes, nas vinte e quatro horas subsequentes, for atingida, respectivamente, uma ou mais das concentrações apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3 - Concentração dos poluentes ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) para determinação dos níveis de atenção, alerta e emergência.

Níveis	MP ₁₀ 24h	MP _{2,5} 24h	SO ₂ 24h	NO ₂ 1h	O ₃ 8h	CO 8h
ATENÇÃO	250	125	800	1.130	200	17.000 (15ppm)
ALERTA	420	210	1.600	2.260	400	34.000 (30ppm)
EMERGÊNCIA	500	250	2.100	3.000	600	46.000 (40ppm)

Fonte: Resolução CONAMA nº 491 de 19/11/2018.

3.4 Índice de Qualidade do Ar

O Índice de Qualidade do Ar (IQAr) é utilizado para simplificar as informações do monitoramento da qualidade do ar de forma a torna-las mais acessíveis ao público. Para cada estação de monitoramento e poluente, conforme definição da legislação vigente, é calculado um número adimensional, este classificado em 05 cinco faixas qualitativas. De acordo com estas faixas, a qualidade do ar pode ser classificada como BOA, MODERADA, RUIM, MUITO RUIM ou PÉSSIMA. Atualmente, o IQAr pode assumir valores desde 0 até superiores a 200, sendo que, quanto maior o valor do IQAr calculado, pior é a qualidade do ar.

Para cada estação de monitoramento, a qualidade do ar é divulgada com base no pior resultado de IQAr calculado, ou seja, numa abordagem conservadora, a partir do cálculo do IQAr para cada poluente monitorado na estação, será divulgado o maior valor de IQAr encontrado.

A Tabela 4 apresenta as faixas de concentração e do IQAr para cada poluente. A classificação do IQAr está associada aos valores de concentração dos poluentes definidos nas Diretrizes da OMS, no Decreto Estadual nº 3.463-R/2013 e na Resolução CONAMA nº 491/2018. Sendo assim, a qualidade do ar é considerada como BOA quando as diretrizes da OMS estão sendo atendidas. Por outro lado, a qualidade do ar é considerada MODERADA, quando as concentrações estabelecidas na legislação vigente estão sendo atendidas. Já as classificações RUIM, MUITO RUIM e PESSIMA são utilizadas quando as concentrações atingem aos níveis apresentados na Tabela 6. Estas concentrações foram definidas com base nos cenários de ATENÇÃO, ALERTA E EMERGÊNCIA estabelecidos na Resolução CONAMA nº 491/2018.

Tabela 4 - Descrição das classes, índices e valores limites de concentração para determinação do IQAr.

Classificação ¹	Concentração(µg/m ³)					
	MP ₁₀ 24h	MP _{2,5} 24h	SO ₂ 24h	NO ₂ 1h	O ₃ 8h	CO 8h
BOA	0 - 50	0 - 25	0 - 20	0 - 200	0 - 100	0 - 10.000
MODERADA	>50 - 120	>25 - 60	>20 - 60	>200 - 240	>100 - 140	>10.000 - 13.000
RUIM	>120 - 150	>60 - 125	>60 - 365	>240 - 320	>140 - 160	>13.000 - 15.000
MUITO RUIM	>150 - 250	>125 - 210	>365 - 800	>320 - 1.130	>160 - 200	>15.000 - 17.000
PÉSSIMA	>250	>210	>800	>1.130	>200	>17.000

* Valores em µg/m³

Exemplificando, para melhor compreensão da construção da **Tabela 4**, considere o poluente MP₁₀, o limite da faixa de classificação "BOA" é de 50 µg/m³ que corresponde a Diretriz da OMS para este poluente para curta exposição. Caso seja mantida a média móvel de 24 horas de MP₁₀ abaixo de 50 µg/m³ a qualidade do ar pode ser classificada como BOA. Por outro lado, se a média móvel de 24 horas de MP₁₀ estiver acima de 50 µg/m³, mas ainda abaixo de 120 µg/m³, que é o padrão vigente para este poluente a qualidade do ar será classificada como MODERADA. Para o exemplo dado, a qualidade do ar será classificada como RUIM, caso o padrão de qualidade do vigente seja ultrapassado, podendo ter o agravamento da classificação para MUITO RUIM ou PÉSSIMA conforme o valor de concentração apurado.

¹ A classificação qualitativa da qualidade do ar é definida de acordo com as faixas numéricas adimensionais definidas para o IQAr, estas, que por sua vez, estão relacionadas com as faixas de concentração apresentadas na Tabela 3.4. Os valores de das faixas atualmente praticados são: IQAr de 0 a 40 → "Boa"; IQAr > 40 a 80 → "Moderada"; IQAr > 80 a 120 → "Ruim"; IQAr > 120 a 200 → "Muito ruim"; IQAr > 200 → "Péssima".

4 Monitoramento da Qualidade do Ar

O monitoramento da qualidade do ar e das condições meteorológicas nos locais cobertos pela rede do IEMA é efetuado por dois conjuntos complementares de estações de monitoramento, sendo: (i) rede automática de monitoramento da qualidade do Ar (RAMQAr), (ii) rede manual de monitoramento de poeira sedimentável (RMPS). As estações da RAMQAr e da RMPS estão localizadas em 4 dos 7 municípios da RMGV, de forma a monitorar o impacto das principais fontes de emissão atmosférica na qualidade do ar da região.

4.1 Rede Automática de Qualidade do Ar (RAMQAr)

A RAMQAr iniciou suas operações em 2000, sendo viabilizada por meio de condicionantes das Licenças de Instalação da Usina VII da Vale (LI nº 198/98) e do Alto Forno II da ArcelorMittal Tubarão (LI nº 192/98). Sua configuração inicial era composta por 8 estações de monitoramento. Atualmente, a RAMQAr possui 9 estações de monitoramento da qualidade do ar (EMQAr), sendo que a nona estação (Cidade Continental) foi instalada por meio da condicionante da Sol Coqueria (LO nº 007/07). A Tabela 5 apresenta a localização das estações de monitoramento da RAMQAr.

Tabela 5 - Dados de localização das estações da RAMQAr.

Estação	Localização	Bairro	Município	Início da Operação	Coordenadas	
					X	Y
EMQAr - RGV1	Hospital Dório Silva	Laranjeiras	Serra	2000	369917	7766305
EMQAr - RGV2	ArcelorMittal Tubarão	Carapina	Serra	2000	368945	7762315
EMQAr - RGV3	Unidade de Saúde	Jardim Camburi	Vitória	2000	367429	7760371
EMQAr - RGV4	Corpo de Bombeiros	Enseada do Suá	Vitória	2000	365266	7753279
EMQAr - RGV5	Ministério da Fazenda	Centro	Vitória	2005	360857	7752450
EMQAr - RGV6	4º Batalhão da Polícia Militar	Ibes	Vila Velha	2000	362532	7749346
EMQAr - RGV7	Ao lado do Colégio Marista	Centro	Vila Velha	2000	365354	7750721
EMQAr - RGV8	CEASA	Vila Capixaba	Cariacica	2000	353697	7749998
EMQAr - RGV9	ArcelorMittal Tubarão	Cidade Continental	Serra	2011	371218	7763588

Nota: Sistema de Coordenadas UTM - SIRGAS 2000.

A localização das estações da RAMQAr está representada nas **Figuras 2 e 3**.

Figura 2 - Distribuição das estações da RAMQAr no Espírito Santo.

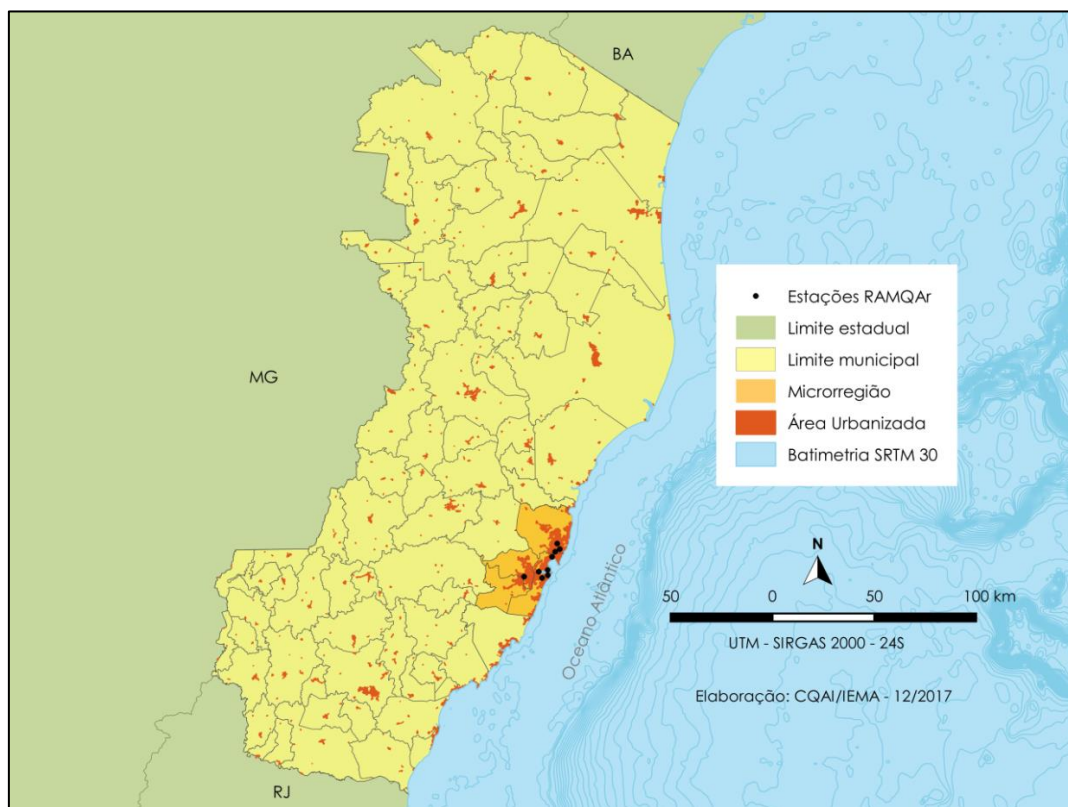
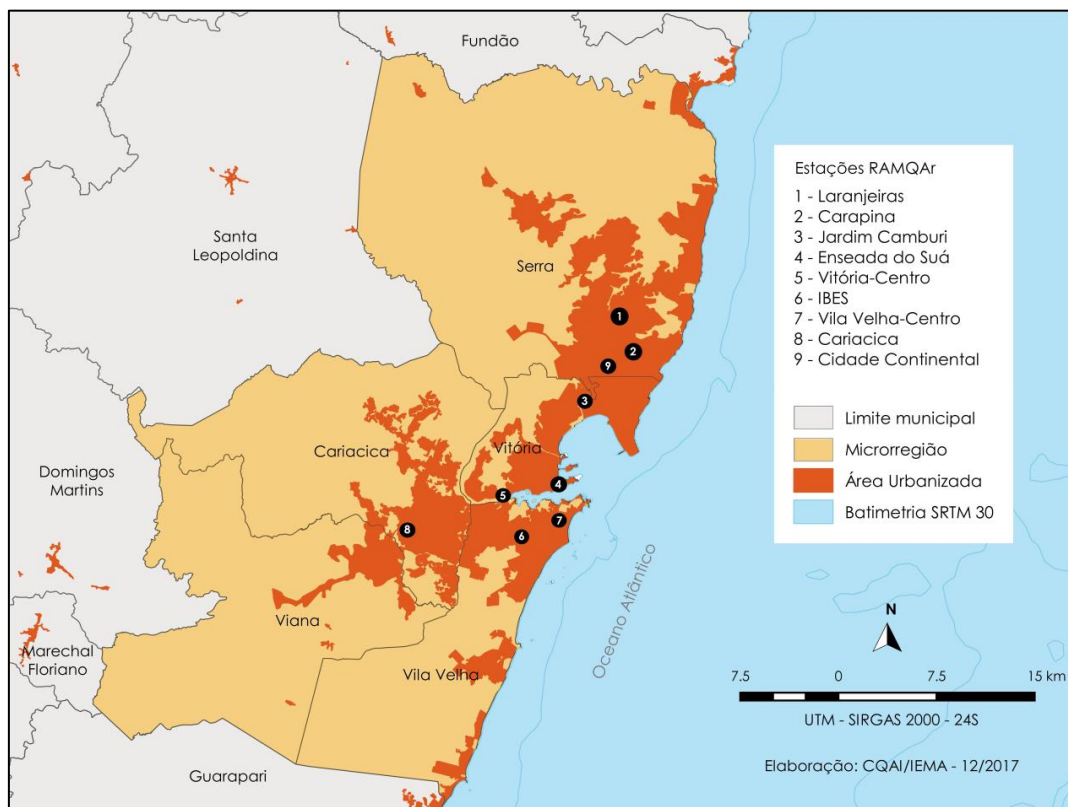


Figura 3 - Distribuição das estações da RAMQAr - Detalhe para a Região da Grande Vitória.



A RAMQAr é de propriedade do IEMA, que gerencia sua operação e manutenção, tendo como objetivos:

- Verificar o atendimento aos padrões da qualidade do ar;
- Verificar a efetividade das medidas de controle ambiental;
- Verificar a influência das atividades antrópicas na qualidade do ar;
- Vigilância da qualidade do ar no entorno de fontes específicas;
- Avaliar as tendências urbanas;
- Avaliar o inventário de emissões e modelos de dispersão;
- Consolidação das informações para subsidiar estudos de riscos para a saúde;
- Apoio às pesquisas acadêmicas.

O Quadro 3 apresenta uma descrição da abrangência esperada e fontes de influência por cada estação da RAMQAr em sua concepção original.

Quadro 2 - Descrição da área de influência das estações da RAMQAr.

Estação	Localização	Descrição de abrangência e fontes de influência
EMQAr - RGV1	Laranjeiras	Influências diretas das indústrias da Ponta de Tubarão quando da ocorrência de ventos sul e demais indústrias do CIVIT quando a concorrência de ventos Nordeste.
EMQAr – RGV2	Carapina	Esta estação capta influências das indústrias da Ponta de Tubarão em determinadas condições de vento.
EMQAr – RGV3	Jardim Camburi	Cobre áreas diretamente influenciadas pelas emissões de indústrias da Ponta de Tubarão, Serra e Vitória. A mesma, ainda, sofre influência de fontes móveis circulando em áreas nos seus arredores.
EMQAr – RGV4	Enseada do Suá	É apresentada como a principal estação na rede de medição instalada, pois se localiza em um ponto estratégico da Região Metropolitana da Grande Vitória e proporciona grande área de cobertura espacial. Sofre influência das emissões de origem industrial da Ponta de Tubarão e pelas fontes móveis que convergem para aquela área de passagem natural da região.
EMQAr – RGV5	Centro-Vitória	A estação proporciona cobertura espacial de áreas diretamente influenciadas pelas emissões de veículos, recebendo ainda contribuições de atividades portuárias e fontes industriais dos municípios de Vitória e Vila Velha.
EMQAr – RGV6	Ibes	Cobre áreas diretamente influenciadas pelas emissões veiculares e industriais dos municípios de Vitória, Vila Velha e Cariacica. A estação reúne todas as condições físicas para medição adequada dos parâmetros meteorológicos.
EMQAr – RGV7	Centro-Vila Velha	Proporciona cobertura espacial de áreas diretamente influenciadas pelas emissões de veículos e industriais dos municípios de Vitória e Vila Velha.
EMQAr – RGV8	Vila Capixaba	A estação apresenta uma alta cobertura na parte sudoeste da região, com baixa redundância entre outras estações da rede. Ela cobre ainda áreas diretamente influenciadas pelas emissões de veículos e indústrias de Cariacica.
EMQAr – RGV9	Cidade Continental	É influenciada diretamente pelas indústrias da Ponta de Tubarão, e sofre influência relativa de veículos e outras fontes da Serra.

É importante ressaltar que o crescimento ocorrido na RMGV e as alterações relacionadas às principais fontes da região pode ter implicado na alteração da abrangência de atuação de cada estação.

Outro fator relevante é a construção de edificações próximas às estações, que podem provocar alterações, em microescala, alterações no escoamento dos ventos, impactando assim às medições das estações de monitoramento. O Quadro 4 apresenta os parâmetros meteorológicos e de qualidade do ar previstos para serem monitorados por cada estação da RAMQAr.

Quadro 3 - Parâmetros previstos para serem monitorados pelas estações da RAMQAr.

Estação	Localização	MP _{2,5}	MP ₁₀	SO ₂	NO	NO ₂	NO _x	CO	O ₃	CH ₄	HCnM	HCT	Parâmetros Meteorológicos
EMQAr - RGV1	Laranjeiras		X	X	X	X	X	X	X				
EMQAr - RGV2	Carapina		X										DV,P,PP,RS,SIGT,UR,VV
EMQAr - RGV3	Jardim Camburi		X	X	X	X	X						
EMQAr - RGV4	Enseada do Suá	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	DV,SIGT,VV
EMQAr - RGV5	Centro-Vitória		X	X	X	X	X	X		X	X	X	
EMQAr - RGV6	Ibes	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	DV,SIGT,T,UR,VV
EMQAr - RGV7	Centro-Vila Velha		X	X									
EMQAr - RGV8	Vila Capixaba		X	X	X	X	X	X	X				DV,SIGT,T,UR,VV
EMQAr - RGV9	Cidade Continental			X		X							DV,VV

Nota: Sistema de Coordenadas UTM - SIRGAS 2000.

Legenda

Poluentes		Meteorologia	
CH ₄	Metano	DV	Direção do Vento
CO	Monóxido de Carbono	P	Pressão Atmosférica
HCnM	Hidrocarbonetos não metano	PP	Precipitação Pluviométrica
HCT	Hidrocarbonetos Totais	RS	Radiação Solar
NO	Monóxido de Nitrogênio	SIGT	Desvio Padrão da Direção do Vento
NO ₂	Dióxido de Nitrogênio	T	Temperatura
NO _x	Óxidos de Nitrogênio	UR	Umidade Relativa
O ₃	Ozônio	VV	Velocidade do Vento
MP ₁₀	Partículas Inaláveis (<10 µm)		
MP _{2,5}	Partículas Respiráveis (<2,5 µm)		
SO ₂	Dióxido de Enxofre		

As estações automáticas coletam e analisam continuamente amostras do ar e processam essas informações na forma de médias horárias, no próprio local e em tempo

real. As médias horárias são transmitidas para a central de telemetria localizada na Coordenação de Qualidade do Ar do IEMA e armazenadas em servidor exclusivo de banco de dados, onde passam por processo de validação técnica periódica. Todos os monitores usados na RAMQAr atendem aos padrões de qualidade e desempenho mais rigorosos do mercado e possuem a certificação da USEPA. A operação da RAMQAr é realizada por empresa contratada através de licitação pública, com a fiscalização e gerência de servidores do IEMA.

Importante esclarecer que em virtude da necessidade de manutenção de alguns equipamentos o Quadro 4 pode ter tido algumas alterações, sendo apresentado neste relatório os dados dos equipamentos em operação no ano de 2021.

4.1.1 Monitor de Particulado

Os monitores de Partículas Inaláveis (MP_{10}) e Partículas Respiráveis ($MP_{2,5}$), utilizam a metodologia de medição *Tapered Element Oscillating Microbalance* - TEOM. O TEOM consiste na passagem de ar ambiente com fluxo constante através de um filtro que é continuamente pesado, através da medição de diferencial de frequência de oscilação medida deste filtro, calculando-se então, as concentrações de massa em tempo real.

4.1.2 Monitor de Dióxido de Enxofre (SO_2)

O instrumento utiliza o princípio da fluorescência dos raios ultravioleta para medir as concentrações de dióxido de enxofre (SO_2) no ambiente. A amostra de gás é irradiada com uma luz ultravioleta de grande intensidade produzindo uma reação iônica. Esta reação é opticamente filtrada e detectada por um fotodiodo. O fotodiodo produz um sinal elétrico proporcional à concentração de SO_2 na amostra de gás.

4.1.3 Monitor de Óxidos de Nitrogênio (NO_x , NO, NO_2)

O instrumento utiliza uma combinação do tipo de modulação de fluxo cruzado duplo, com o princípio de quimiluminescência com o método de cálculo diferencial. Quando o monóxido de nitrogênio (NO) e o dióxido de nitrogênio (NO_2) reagem com o ozônio, uma parte do NO é oxidada formando NO_2 . Parte do NO_2 gerado está em um estado excitado e emite luz neste estado. Este fenômeno é chamado de quimiluminescência. O analisador separa a amostra em duas partes. Em uma delas o NO_2 é reduzido para NO pelo conversor térmico de NO_x e então é utilizado para medir NO_x ($NO + NO_2$). Na outra parte, a amostra de gás de NO é medida normalmente. Na câmara de reação a

amostra reage com o ozônio (formando o NO_2 excitado) e a emissão de luz produzida é detectada por um fotodiodo. A saída produzida pelo fotodiodo é proporcional às concentrações de NO_x e NO no fluxo da amostra.

4.1.4 Monitor de Monóxido de Carbono (CO)

O instrumento utiliza o efeito de modulação que ocorre com a absorção de infravermelho (IR) de uma amostra de gás, quando esta amostra de gás e um gás zero (neutro) são alternadamente injetados, a fluxo constante, em uma célula analisadora. Um detector de IR é utilizado para converter a absorção do gás em um sinal elétrico proporcional à concentração de CO .

4.1.5 Monitor de Ozônio (O_3)

O instrumento utiliza o tipo de modulação de fluxo cruzado, o método de absorção ultravioleta juntamente com o método de cálculo comparativo. A amostra é exposta a uma fonte luminosa de UV com frequência constante. As moléculas de ozônio são absorvidas pela luz UV produzindo um sinal óptico que é convertido em um sinal elétrico. O sinal elétrico é usado para calcular a concentração de ozônio.

4.2 Rede Manual de Monitoramento de Poeira Sedimentável (RMPS)

A RMPS foi implantada em abril de 2009 e atualmente a rede conta com 11 pontos, sendo nove localizados nas estações da RAMQAR e dois no bairro Ilha do Boi em Vitória (Hotel SENAC e Clube Ítalo Brasileiro).

A localização dos pontos de poeira sedimentável pode ser visualizada nas **Figuras 4 e 5**.

Figura 4 - Distribuição espacial dos pontos de coleta de PS na Região da Grande Vitória.

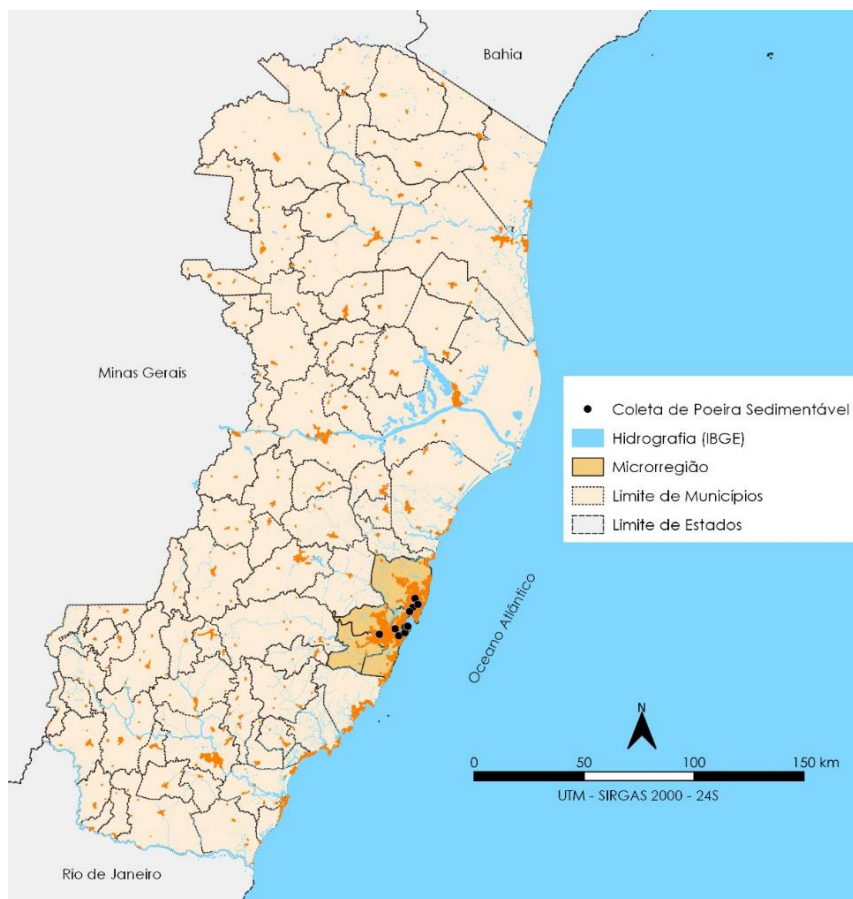
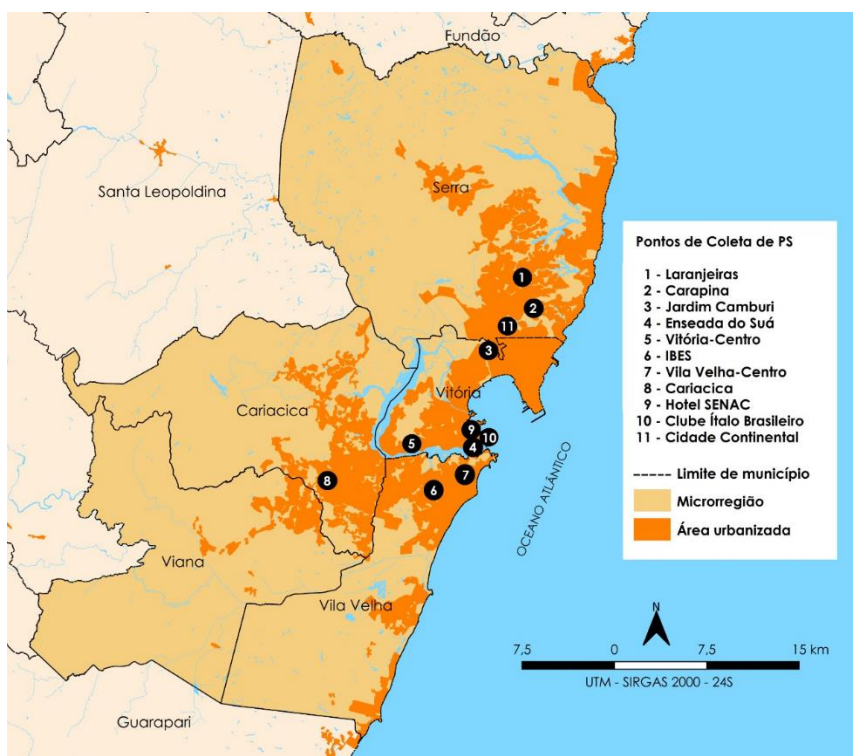


Figura 5 - Distribuição espacial dos pontos de coleta de PS na Região da Grande Vitória



O posicionamento dos pontos de monitoramento de poeira foi determinado com base nas recomendações da norma ASTM D1739-98 (2004). A Tabela 6 apresenta a localização dos pontos de monitoramento de poeira sedimentável.

Tabela 6 - Localização dos pontos de monitoramento de poeira sedimentável.

Ponto	Localização	Bairro	Município	Coordenadas	
				X	Y
PMPS - RGV1	Hospital Dório Silva	Laranjeiras	Serra	369917	7766305
PMPS – RGV2	ArcelorMittal Tubarão	Carapina	Serra	368945	7762315
PMPS – RGV3	Unidade de Saúde	Jardim Camburi	Vitória	367429	7760371
PMPS – RGV4	Corpo de Bombeiros	Enseada do Suá	Vitória	365266	7753279
PMPS – RGV5	Ministério da Fazenda	Centro	Vitória	360857	7752450
PMPS – RGV6	4º Batalhão da Polícia Militar	Ibes	Vila Velha	362532	7749346
PMPS – RGV7	Ao lado do Colégio Marista	Centro	Vila Velha	365354	7750721
PMPS – RGV8	CEASA	Vila Capixaba	Cariacica	353697	7749998
PMPS – RGV9	Hotel SENAC	Ilha do Boi	Vitória	366107	7753649
PMPS - RGV10	Clube Ítalo Brasileiro	Ilha do Boi	Vitória	366640	7753590
PMPS - RGV11	Cidade Continental	Cidade Continental	Serra	371184	7763591

Nota: Sistema de Coordenadas UTM - SIRGAS 2000.

Cada ponto de monitoramento é dotado de coletores no padrão ASTM D1739-98 (2004), em número suficiente, que assegure a medição da deposição de poeira sedimentável.

A Figura 6 apresenta o aparato utilizado para coleta de poeira sedimentável. Este aparato consiste, basicamente, num recipiente de coleta de 25 cm de diâmetro e 50 cm de profundidade protegido por uma barreira para minimizar a influência da velocidade do vento sobre as medições.

Figura 6 – Aparato para coleta de Poeira Sedimentável.



Para a quantificação da taxa de deposição de poeira sedimentável são empregados os procedimentos descritos na norma ASTM D1739-98 (2004). O coletor é exposto por 30 dias, e após este período a massa depositada é seca e quantificada por gravimetria. Conhecendo a massa de partículas depositadas e a área do recipiente, determina-se o fluxo de deposição em $\text{g/m}^2/30$ dias. Os dados divulgados representam a média dos fluxos de deposição calculados entre os coletores instalados em cada ponto de monitoramento.

4.3 Métodos de Tratamento de Dados

Os dados brutos utilizados para elaboração deste relatório são as concentrações médias horárias para cada poluente e variáveis meteorológicas monitoradas. A partir desses dados são calculadas as concentrações médias aritméticas anuais (MP_{10} , $\text{MP}_{2,5}$, NO_2 e SO_2), médias geométricas anuais (PTS), médias móveis de 24 horas (PTS, MP_{10} , $\text{MP}_{2,5}$, e SO_2), médias móveis de 8 horas (CO e O_3) e médias horárias (CO e NO_2).

Neste relatório **utilizam-se as médias móveis de 8 horas e 24 horas para a realização das comparações com os padrões previstos na legislação vigente e com as recomendações da OMS.**

As médias móveis representam a melhor estratégia para a verificação da exposição ao poluente monitorado, pois a exposição ocorre em horas consecutivas e não de acordo com o período de tempo fixo de 24 horas existente num dia. Desse modo, para cada dia de monitoramento são calculadas 24 médias móveis de 24 horas, perfazendo 8.760 médias em um ano. Outro modo interessante de avaliar a importância do uso da média

móvel, consiste em perceber que a média de 24 horas entre 00:00 horas e 23:59 horas pode ser menor que a média de 24 horas calculada entre 12:00 horas e 11:59 horas do dia posterior, entretanto, a exposição de 24 horas ao poluente ocorreu tanto entre 00:00 horas e 23:59 horas como entre 12:00 horas e 11:59 horas.

4.3.1 Representatividade dos Dados

A análise da representatividade dos dados de monitoramento é muito importante para garantir a validade das comparações entre os dados de monitoramento e os padrões de qualidade do ar. Por exemplo, se uma estação de monitoramento possui dados válidos de medição somente em metade dos meses de um ano, a média anual da concentração de poluentes calculada com os dados dessa estação pode não ser representativa da qualidade do ar daquela região. Esse problema pode ser mais grave se os dados coletados não representarem períodos críticos ou de condições meteorológicas desfavoráveis, como os meses de inverno, por exemplo. Nesse contexto, a definição de critérios de representatividade de dados é de extrema importância para assegurar a confiabilidade das análises efetuadas.

A representatividade de um parâmetro de monitoramento calculado (tais como médias anuais, mensais ou de 24 horas) é avaliada com base no percentual de dados brutos válidos que foi utilizado em seu cálculo. Ao processar os dados brutos, são considerados como dados disponíveis/válidos os dados que não são invalidados pelo sistema de captura/armazenamento de dados ou pelo gestor do sistema.

Neste relatório são utilizados os critérios de representatividade definidos pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2019).

A representatividade dos dados é testada com base no número de dados brutos disponíveis/ válidos para o cálculo de médias horárias, diárias, mensais e anuais. O Quadro 5 apresenta os critérios de representatividade dos parâmetros monitorados utilizados neste relatório.

Quadro 4 - Descrição dos critérios de representatividade dos parâmetros.

Parâmetro a ser calculado	Critério de representatividade
Médias horárias	75% de dados válidos durante a hora
Médias de 24 horas	2/3 das médias horárias válidas durante as 24 horas
Média Mensal	2/3 das médias diárias válidas no mês
Média anual	1/2 das médias de 24 horas válidas para os quadrimestres janeiro-abril, maio-agosto e setembro-dezembro

Somente os resultados considerados representativos serão considerados nas análises neste relatório. Os resultados que não atendem aos critérios de representatividade não foram levados em consideração para as análises efetuadas, mas podem ser apresentados nos gráficos e tabelas com a indicação “não representativos”.

No Apêndice A é apresentado a classificação de representatividade dos dados de meteorologia e qualidade do ar para as estações componentes da RAMQAr para o ano de 2021.

5 Dados Meteorológicos

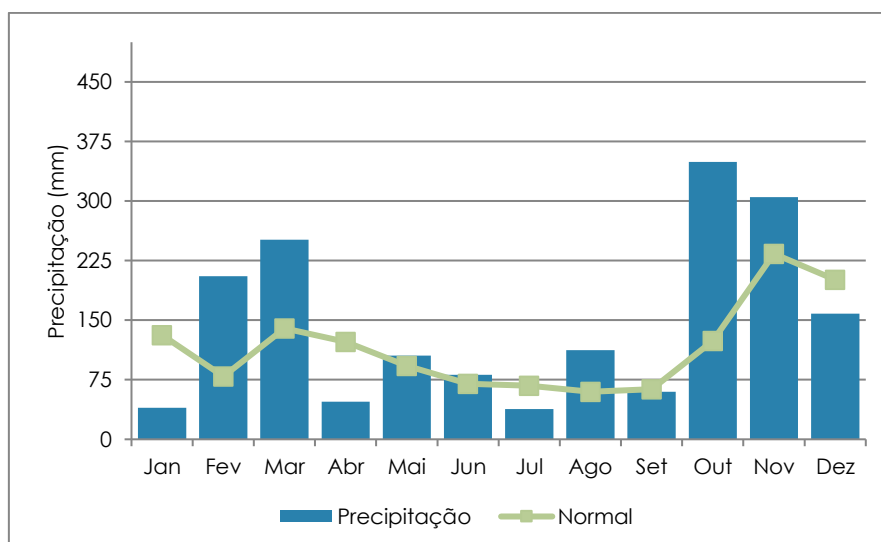
A dispersão dos poluentes, e consequentemente o nível de concentração destes na atmosfera, é diretamente influenciada pelas variáveis meteorológicas. Dentre as variáveis meteorológicas, o regime de ventos, a umidade do ar, a radiação solar, a temperatura ambiente e a ocorrência de chuvas são alguns fatores climáticos locais, que podem interferir no tempo de permanência dos poluentes na atmosfera. Fenômenos meteorológicos de circulação geral da atmosfera também interferem na dispersão de poluentes, uma vez que a movimentação das grandes massas de ar afeta a circulação meteorológica local.

Neste capítulo, as condições meteorológicas para o ano de 2021, na região onde estão instaladas as estações da RAMQAr serão representadas pelas medições da estação EMQAr - RGV2 (Carapina), uma vez que nesta é realizada a medição de todas as variáveis meteorológicas de interesse. Outra análise realizada neste capítulo é a identificação das ocorrências de dias desfavoráveis a dispersão atmosférica de poluentes.

5.1 Precipitação

O Gráfico 2 apresenta a evolução mensal de chuva acumulada registrada na estação Carapina em 2021. Observa-se que o índice pluviométrico ficou acima do esperado em vários meses do ano.

Gráfico 2 - Precipitação acumulada mensal na estação EMQAr - RGV2 - Carapina.



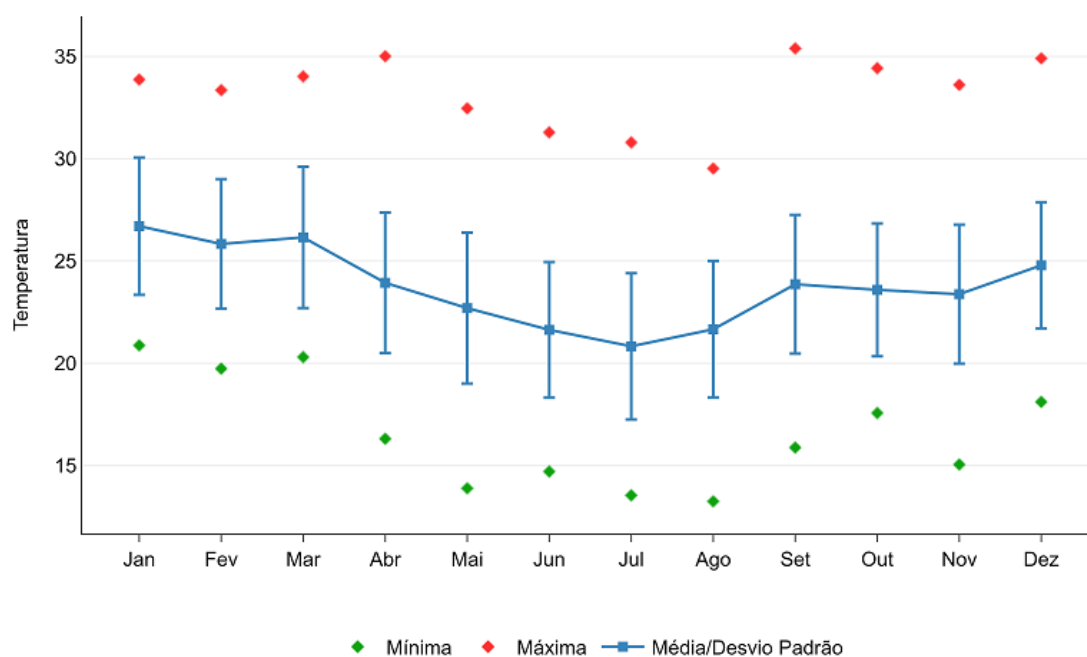
Para esta região, normalmente, o período chuvoso inicia-se no mês de novembro e se estende até março. Nessa época do ano, a atuação de sistemas sinóticos favorece o aumento da precipitação.

Para o ano de 2021, a ocorrência de chuva ficou acima do esperado, resultando numa precipitação total anual de 1753 mm, ultrapassando em 369 mm a normal climatológica para região.

5.2 Temperatura

O Gráfico 3 apresenta os valores de temperatura média mensal, máxima e mínima, baseados nas medidas horárias realizadas em 2021 na estação Carapina.

Gráfico 3 - Temperatura média mensal, máxima e mínima na estação EMQAr - RGV2 - Carapina.

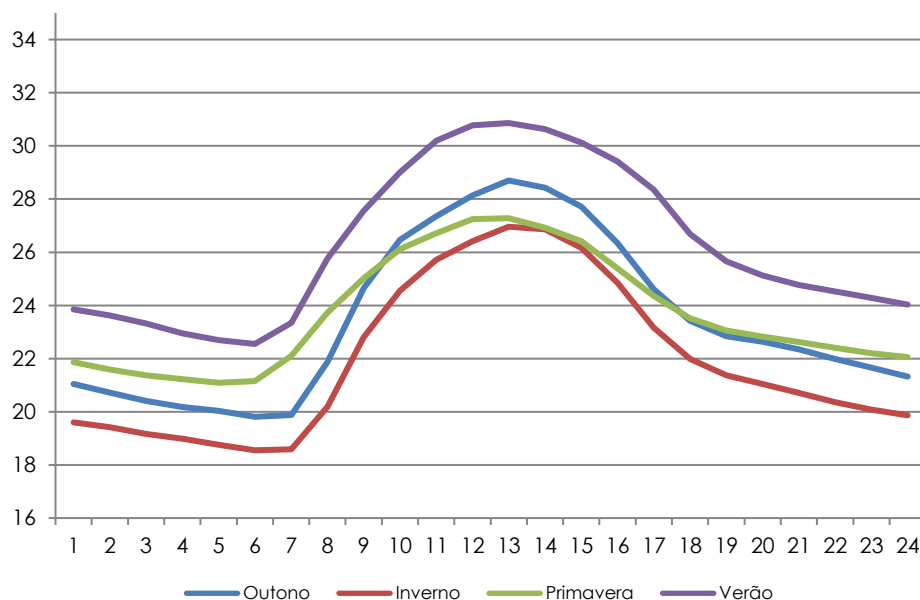


As médias mensais da temperatura do ar ao longo de 2021 apresentaram variações pequenas ao longo do ano. A temperatura média anual na estação Carapina foi de 23,7°C, sendo essa temperatura inferior à normal climatológica (24,9°C).

A maior temperatura foi registrada no mês de setembro (35,4°C), já a temperatura mínima ocorreu no mês de agosto (13,3°C). É importante ressaltar que esses valores de máxima e mínima temperatura extrapolaram os valores médios das normais climatológicas para temperatura máxima (32 °C no mês de fevereiro) e temperatura mínima (19,6°C no mês julho). Observa-se no Gráfico 4 que as maiores diferenças de

temperatura são observadas entre as estações de inverno e verão. Os valores máximos de temperatura durante todo o ano ocorrem entre 12h e 14h, período que coincide com a maior incidência de radiação solar na superfície.

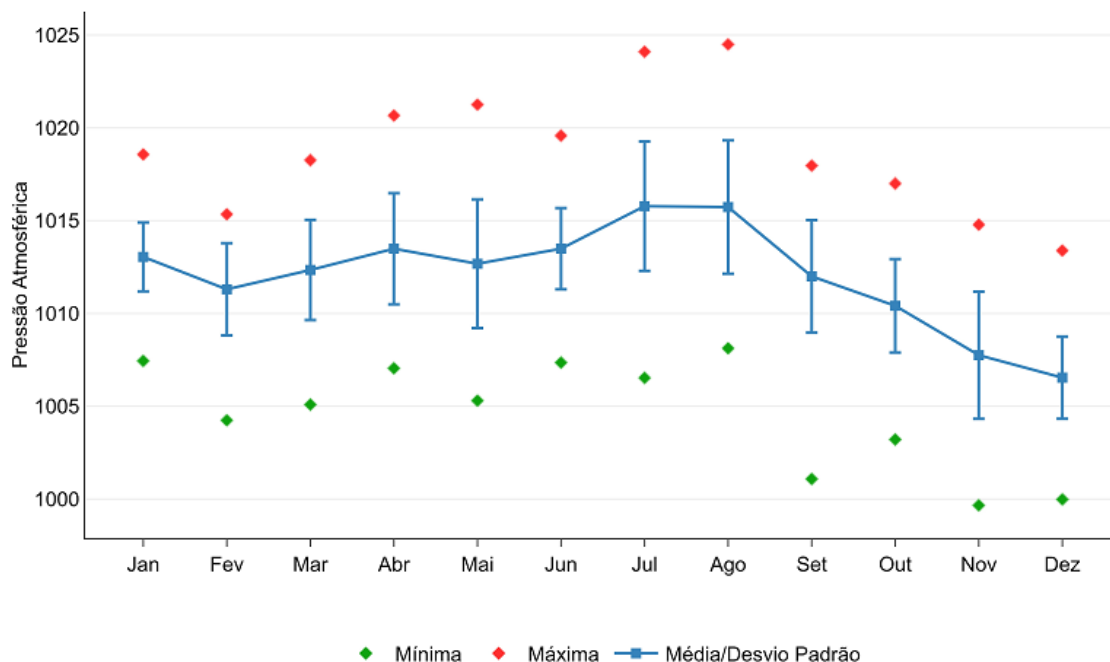
Gráfico 4 - Perfil de temperatura ao longo do dia, para as estações em 2021, na EMQAr - RGV2 - Carapina.



5.3 Pressão Atmosférica

A variação média mensal da pressão atmosférica apresenta comportamento sazonal, sendo que as altas pressões estão presentes sobre a região durante o período de inverno, que está relacionado à migração dos centros de alta pressão do oceano para o continente e as pressões mais baixas ocorrem nos meses de verão quando acontece a migração dos centros de alta pressão no sentido inverso. O Gráfico 5 apresenta o comportamento desse parâmetro no ano de 2021.

Gráfico 5 - Pressão atmosférica média mensal, máxima e mínima na estação EMQAr - RGV2 - Carapina.

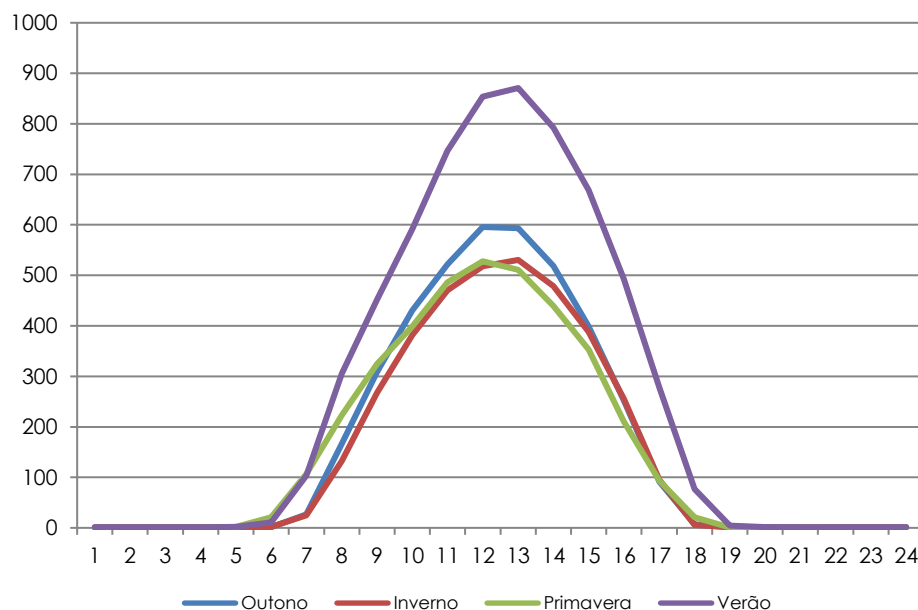


A pressão atmosférica média anual foi 1012,1mbar. Os dados de pressão atmosférica medidos na estação Carapina foram representativos, sendo registrado 98,58% dos dados horários válidos.

5.4 Radiação Solar

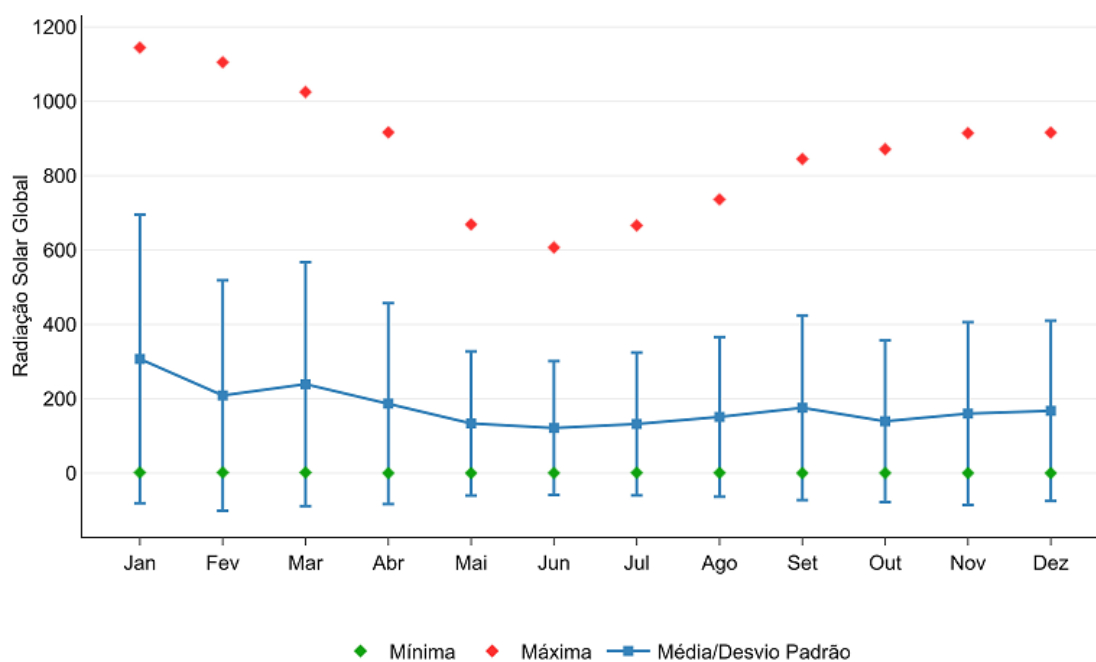
A radiação solar indica o fluxo de energia solar incidente sobre uma determinada área. O **Gráfico 6** apresenta variação da incidência da radiação solar ao longo do dia para as estações do ano em 2021.

Gráfico 6 - Perfil da radiação solar ao longo do dia, para as estações do ano em 2021, na EMQAr - RGV2 - Carapina.



Verifica-se um comportamento típico, com máximos ocorrendo por volta do meio dia, com fluxo de radiação médio incidente em 199 W/m². É importante salientar que os dados da estação de Carapina foram representativos, pois apresentou 98,58% dos dados medidos válidos.

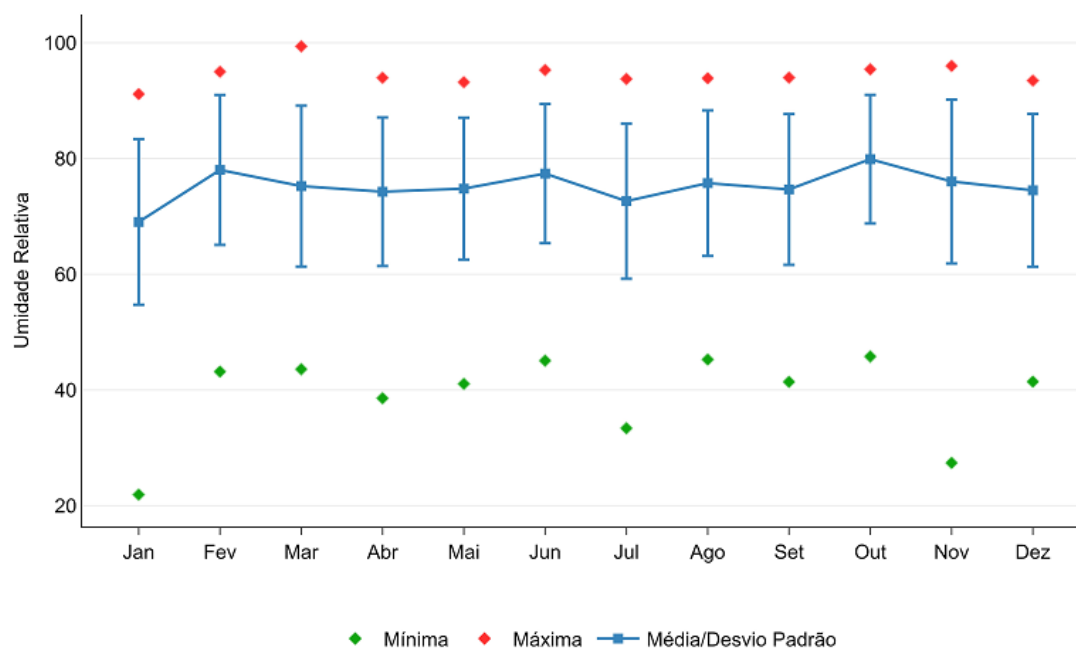
No Gráfico 7 pode-se verificar o comportamento dos valores registrados ao longo do ano de 2021, sendo apresentados as médias mensais, valores máximos e mínimos para cada mês do ano.

Gráfico 7 - Radiação solar média mensal e máxima na estação EMQAr - RGV2 - Carapina.

5.5 Umidade

Para este parâmetro, a estação de Carapina não apresentou dados representativos e por esse motivo foram considerados os resultados da estação de Cariacica.

No Gráfico 8 pode-se verificar o comportamento dos valores registrados para umidade, na estação Cariacica, ao longo do ano de 2021, sendo apresentados as médias mensais, valores máximos e mínimos para cada mês do ano.

Gráfico 8 - Umidade média mensal, máxima e mínima na estação EMQAr - RGV2 - Cariacica.

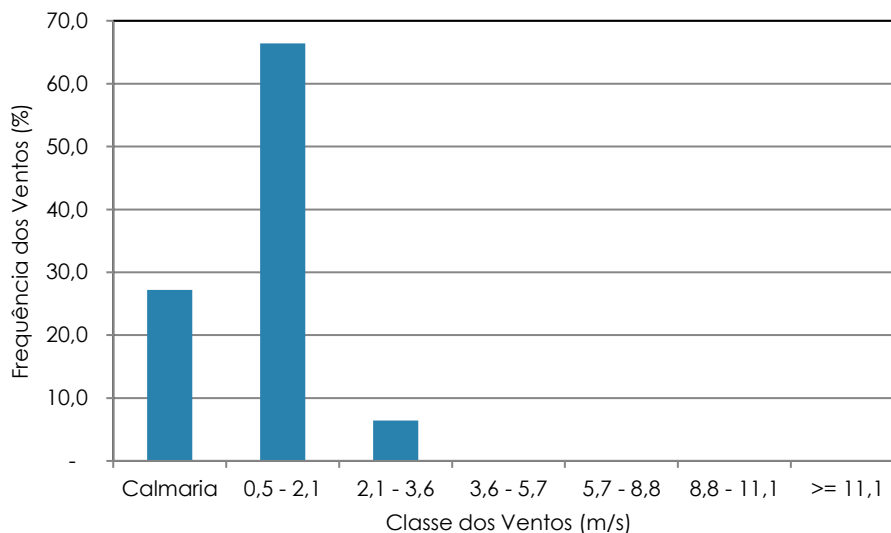
Para estação Cariacica, no ano de 2021, houve registro de 95,78% dos dados horários válidos. A umidade relativa do ar manteve-se elevada durante todo o ano na área monitorada, condição típica de região litorânea e tropical, apresentando média anual por volta de 75,2%.

Ressalta-se o mês de janeiro como o mais seco, com baixa umidade relativa do ar e pouca chuva de forma atípica.

5.6 Ventos

O Gráfico 9 apresenta distribuição de frequência para o registro de velocidade dos ventos na estação EMQAr - RGV2 (Carapina) ao longo do ano de 2021.

Gráfico 9 - Distribuição de frequência de ocorrência das classes de vento na estação EMQAr - RGV2 (Carapina) para o ano de 2021.

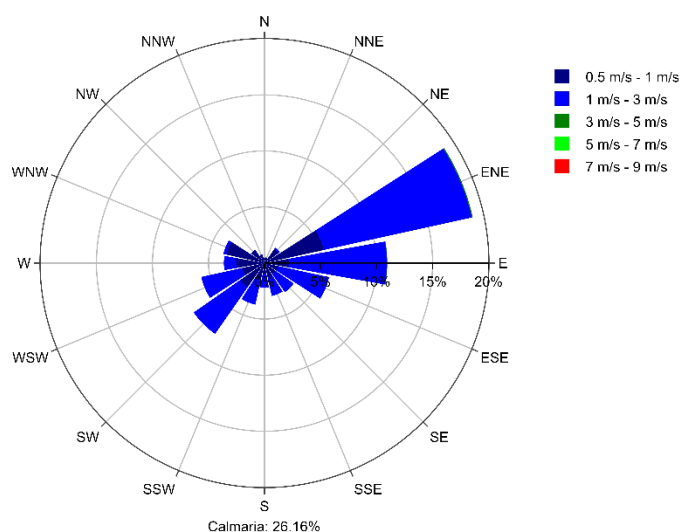


A velocidade média na estação Carapina foi de 1,0 m/s. De acordo com a classificação de intensidade dos ventos de Beaufort (PRIMAULT, 1979), a velocidade média do vento da estação Carapina apresenta grau 1, classificada como Aragem.

5.6.1 Rosa dos Ventos

O Gráfico 10 apresenta a rosa dos ventos obtida da análise da série temporal de direção e velocidade do vento medidos na estação Carapina para o ano de 2021.

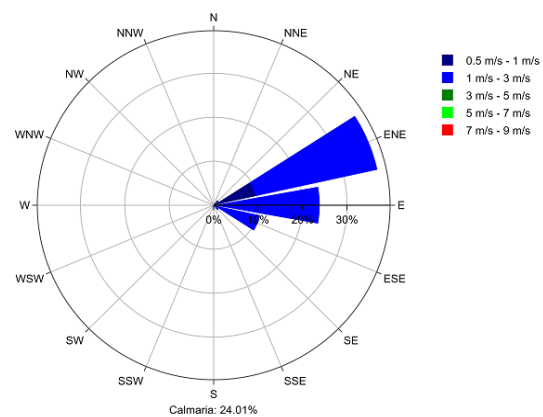
Gráfico 10 - Rosa dos ventos para estação EMQAr - RGV2 (Carapina)- Ano de 2021.



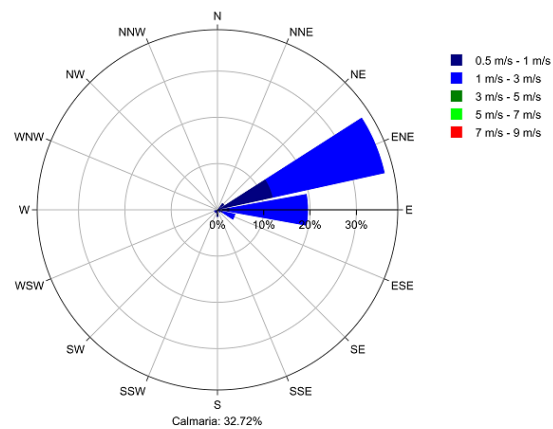
Para a estação avaliada verificou-se que os ventos mais frequentes e intensos ocorrem em direções situadas no primeiro quadrante (0 a 90°). O comportamento dos ventos nesta estação é influenciado pela presença de barreiras naturais que podem promover a atenuação de sua velocidade.

Os Gráficos 11, 12, 13 e 14 apresentam as rosas dos ventos para os meses de janeiro a dezembro de 2021 para estação EMQAr - RGV2 (Carapina).

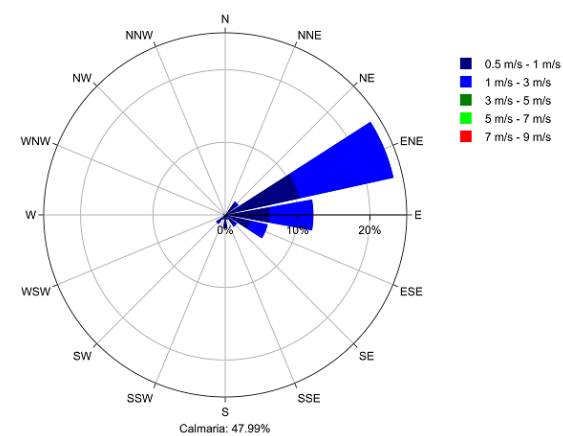
Gráfico 11 - Rosa dos ventos de janeiro, fevereiro e março de 2021 – EMQAr - RGV2 (Carapina).



(a) Janeiro



(b) Fevereiro



(c) Março

Gráfico 12 - Rosa dos ventos de abril, maio e junho de 2021 – EMQAr - RGV2 (Carapina).

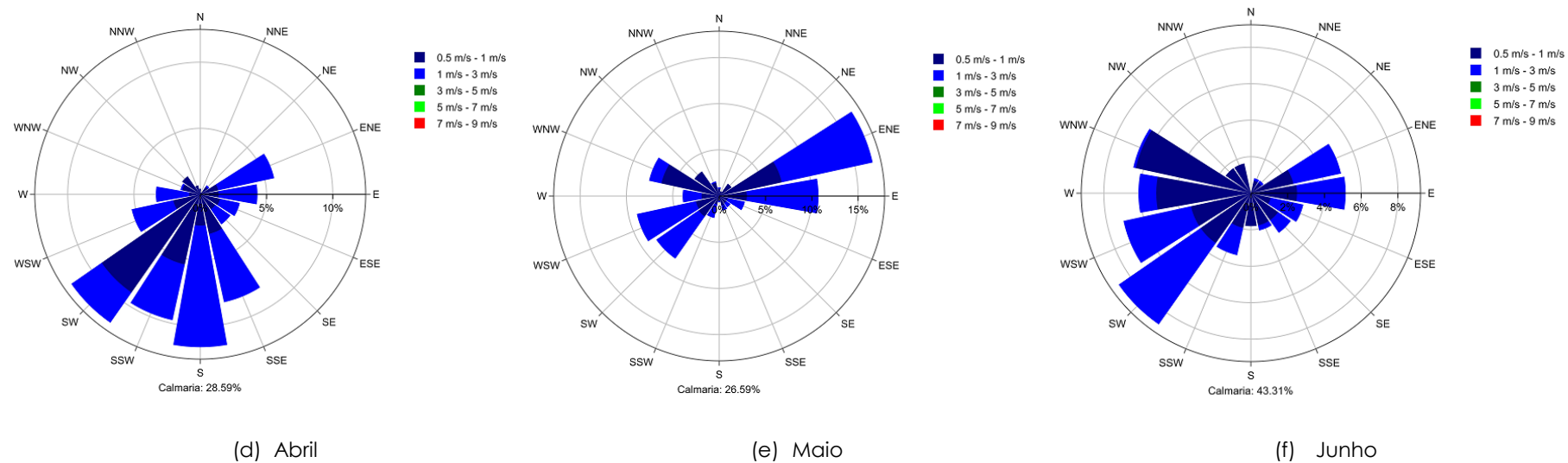
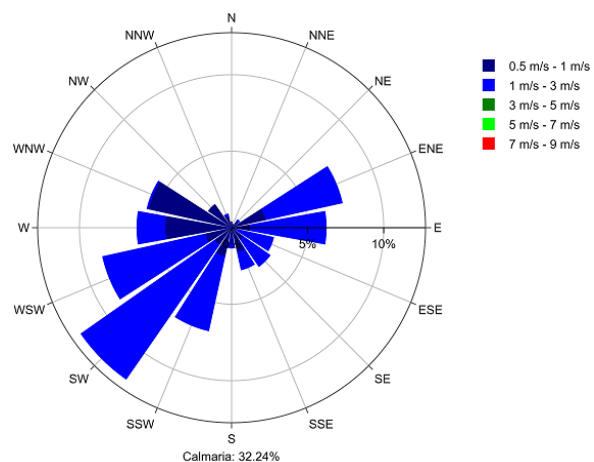
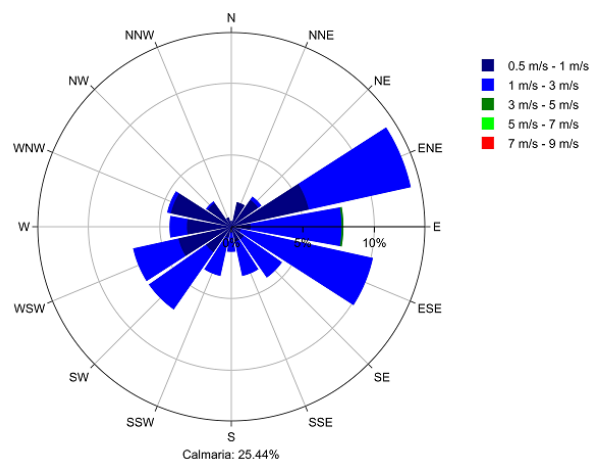


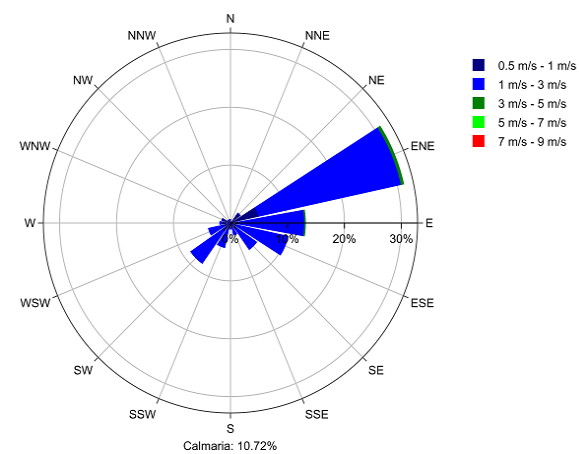
Gráfico 13 - Rosa dos ventos de julho, agosto e setembro de 2021 – EMQAr - RGV2 (Carapina).



(g) Julho

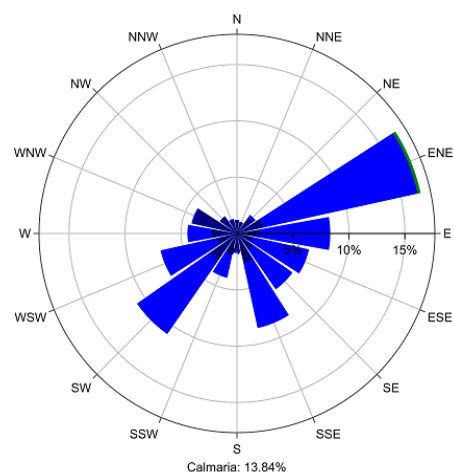


(h) Agosto

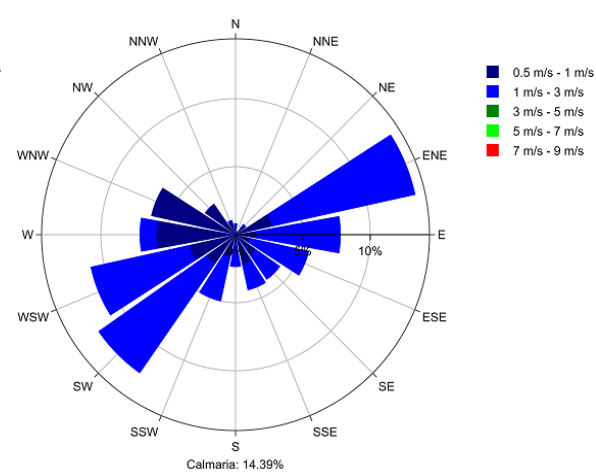


(i) Setembro

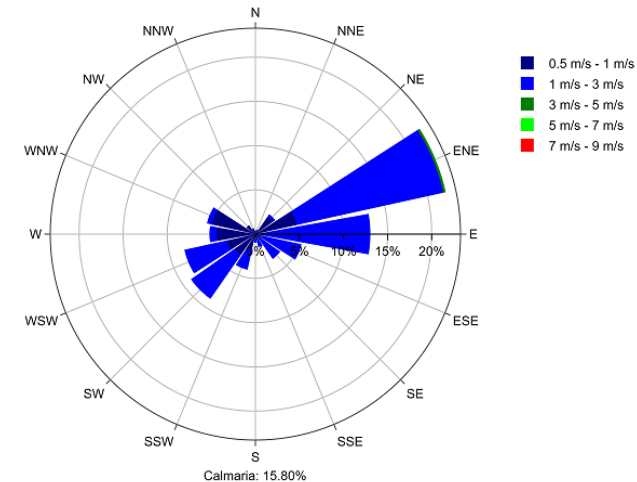
Gráfico 14 - Rosa dos ventos para os meses de outubro, novembro e dezembro de 2021 – EMQAr - RGV2 (Carapina).



(j) Outubro



(k) Novembro



(l) Dezembro

Nos gráficos pode-se verificar a forte influência dos ventos no quadrante nordeste (NE) em praticamente todos os meses do ano, sendo mais acentuado nos meses do Verão.

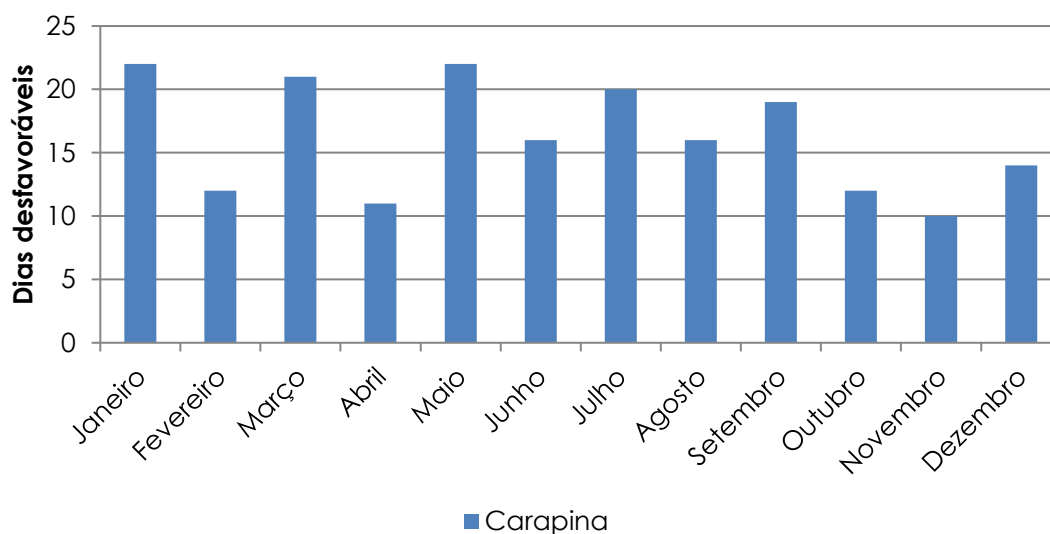
Os meses de abril, junho, julho e novembro observa-se a presença de importante componente de ventos no terceiro quadrante. Os outros meses não demonstraram grandes diferenças da normal climatológica da região.

No Espírito Santo as velocidades médias dos ventos apresentam notável sazonalidade, em geral, com ventos mais intensos nos meses de primavera (setembro a novembro), e mais brandos no final de outono e início do inverno (abril a junho) (ATLAS, 2009).

5.6.2 Dias Desfavoráveis à Dispersão de Poluentes

Com o objetivo de identificar as condições de dispersão atmosférica na região coberta pela RAMQAr em 2021, foi realizado, com base em metodologia utilizada pela CETESB-SP, a classificação de dias desfavoráveis a dispersão de poluentes. Tal metodologia considera apenas as condições meteorológicas para dispersão de poluentes primários. Os critérios para identificar dias desfavoráveis à dispersão adotados são: (i) porcentagem de calmaria (velocidade do vento inferior a 0,5 m/s) durante o dia maior ou igual 25% e (ii) ausência de precipitação. Ambos os critérios (i e ii) devem ser atendidos simultaneamente (CETESB, 2013). No Gráfico 15 é apresentado a distribuição anual dos dias considerados como desfavoráveis a dispersão de poluentes, considerando os dados de precipitação e velocidade dos ventos registrados na estação EMQAr - RGV2 (Carapina) no ano de 2021.

Gráfico 15 -Número de dias desfavoráveis à dispersão de poluentes na estação EMQAr - RGV2 (Carapina).



Verifica-se que no ano de 2021 os meses de janeiro e maio foram os que apresentaram maior número de dias desfavoráveis à dispersão de poluentes. Meses com baixas precipitações, diminuições de temperaturas e ocorrência de períodos de grande estabilidade atmosférica, resultam em condições mais desfavoráveis à dispersão de poluentes na atmosfera (CETESB, 2010).

6 Qualidade do Ar

Neste capítulo apresenta-se os dados de qualidade do ar medidos pela rede de monitoramento do IEMA no ano de 2021, estando dividido em 6 seções. A Seção 6.1 apresenta os resultados e discussões para Material Particulado, incluindo os resultados para $MP_{2,5}$, MP_{10} , e PS. A Seção 6.2 apresenta os resultados e discussões para Dióxido de Enxofre (SO_2). A Seção 6.3 apresenta os resultados e discussões para Dióxido de Nitrogênio (NO_2). A Seção 6.4 apresenta os resultados e discussões para Ozônio (O_3). A Seção 6.5 apresenta os resultados e discussões para Monóxido de Carbono (CO). E finalmente, a seção 6.6 apresenta o Índice de Qualidade do Ar (IQA) para o ano de 2021.

6.1 Material Particulado (MP)

6.1.1 Partículas Respiráveis ($MP_{2,5}$)

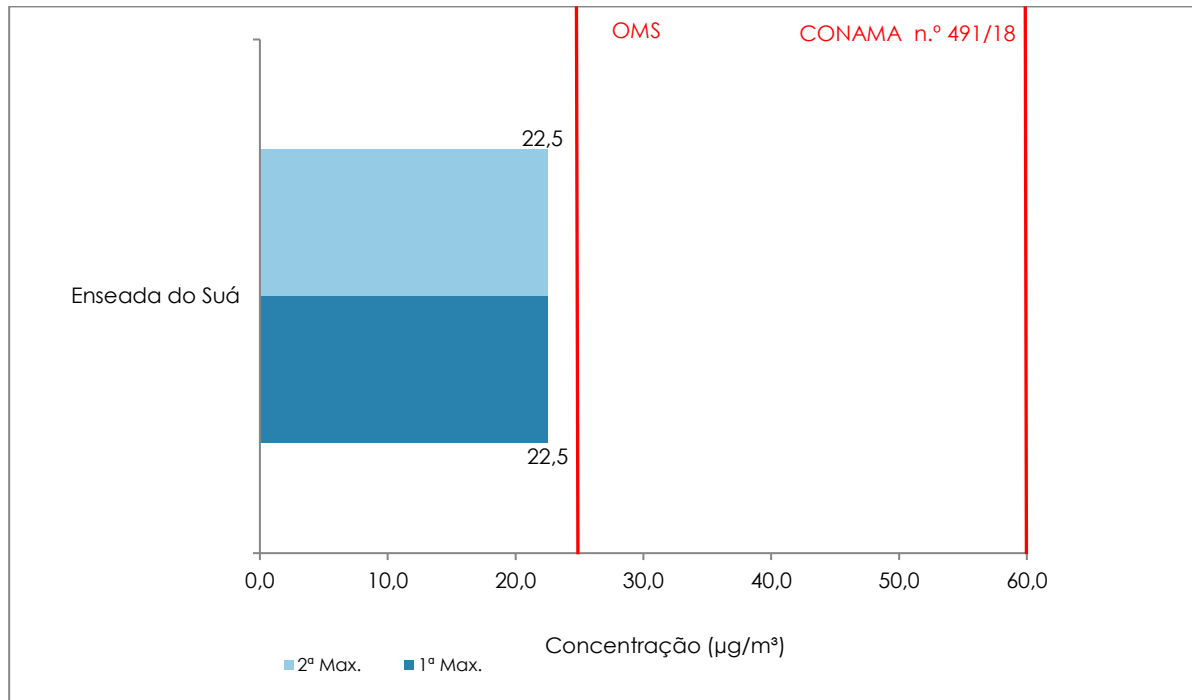
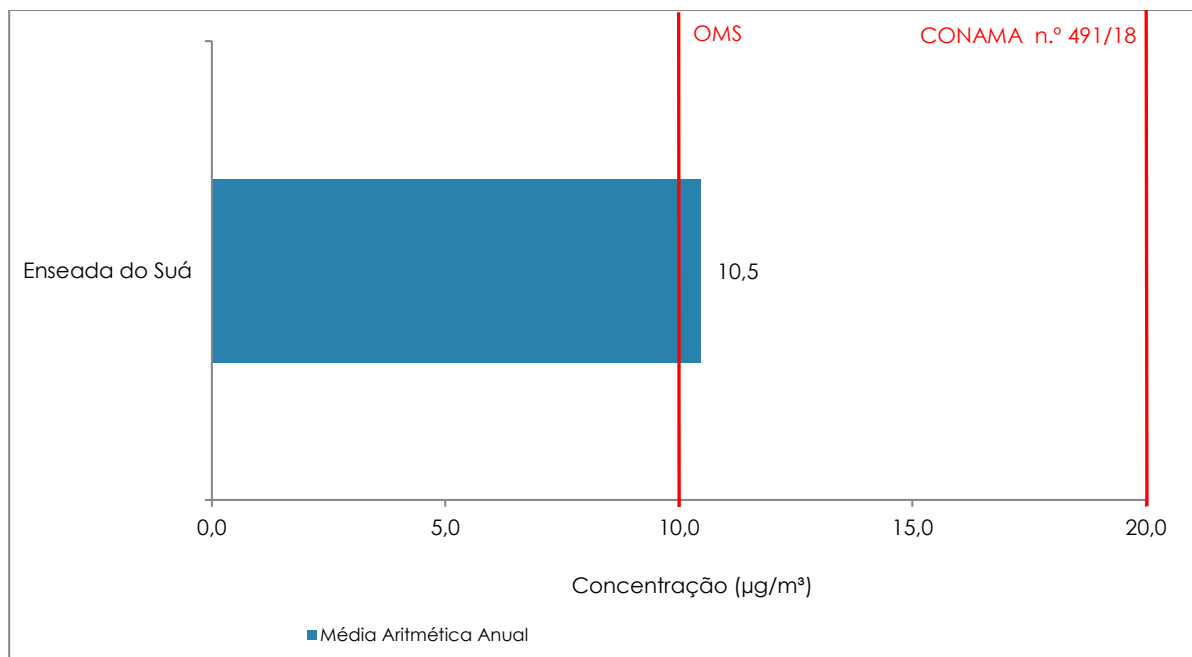
O monitoramento de $MP_{2,5}$ é previsto em duas estações da RAMQAr, sendo elas a EMQAr – RGV4 (Enseada do Suá) e EMQAr – RGV6 (Vila Velha - Ibes). A Tabela 07 apresenta as máximas médias de 24 horas e as médias aritméticas anuais (MAA) obtidas a partir dos dados registrados nas estações para o ano de 2021. No ano de 2021 não houve monitoramento do parâmetro na estação Vila Velha - IBES

Tabela 7 - Valores das máximas médias de 24h e da MAA das concentrações de $MP_{2,5}$ ($\mu g/m^3$).

Máxima	Enseada do Suá
1ª Max.	22,5
2ª Max.	22,5
Média Aritmética Anual	10,5*

*Média não representativa.

Foram verificadas ultrapassagens da diretriz da OMS para este parâmetro apenas para média anual, conforme apresentado nos Gráficos 16 e 17.

Gráfico 16 - Máximas médias de 24h para as concentrações de $MP_{2,5}$ nas estações da RAMQAr.**Gráfico 17 - Médias anuais das concentrações de $MP_{2,5}$ nas estações da RAMQAr.**

O Decreto Estadual 3.463-R/2013 não estabelece meta intermediária I para curta e longa exposição para as Partículas Respiráveis ($MP_{2,5}$), sendo neste caso utilizado como referência os padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA n.º 491/2018.

Neste sentido, a Tabela 8 apresenta o número de ultrapassagens registradas para o poluente $MP_{2,5}$ em relação ao padrão vigente, estabelecido pela Resolução CONAMA n.º 491/2018, assim como em relação as diretrizes recomendadas pela OMS.

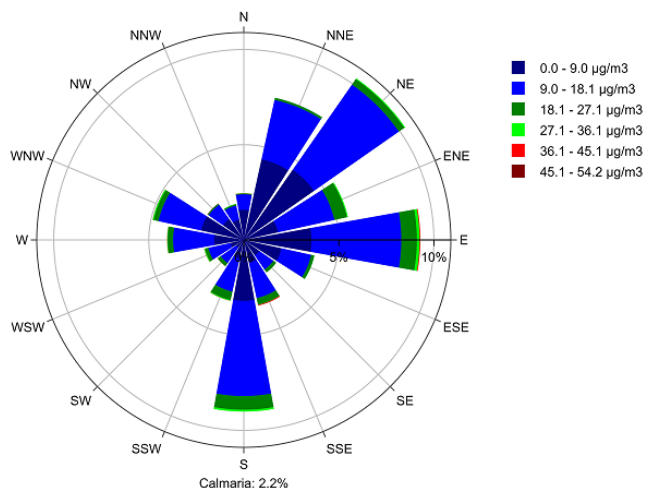
Tabela 8 - Registro de ultrapassagens às médias de curta e longa duração para o parâmetro MP_{2,5}.

Referencial	Período de Referência	Número de ultrapassagens
		Enseada do Suá
Resolução CONAMA nº 491/2018 (PI-1)	24 horas*	0
OMS	24 horas*	0
Resolução CONAMA nº 491/2018 (PI-1)	Anual**	Não
OMS	Anual**	Sim

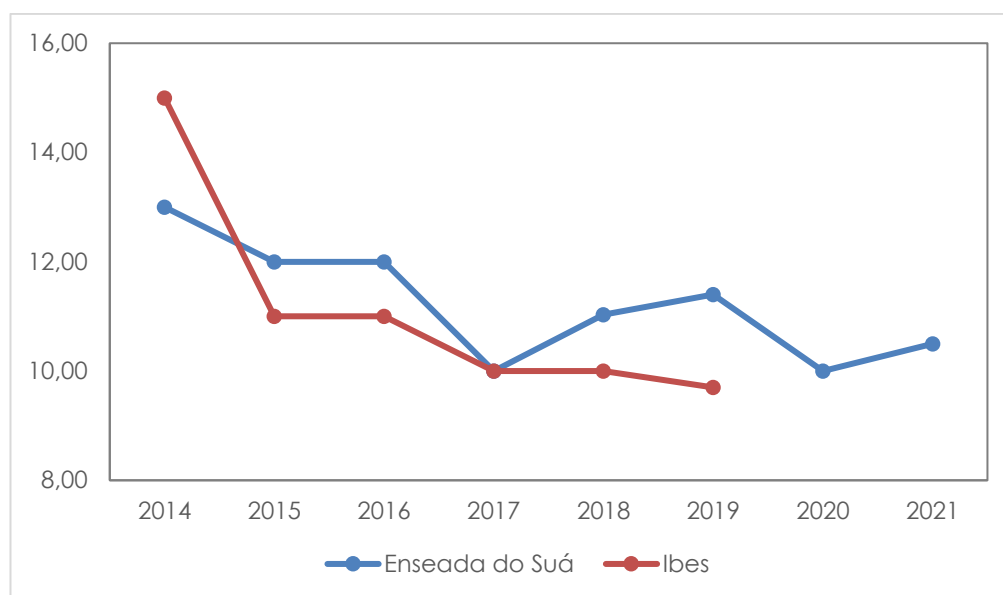
*Média de 24 horas **Média Aritmética Anual

O Gráfico 18 apresenta a distribuição dos dados horários de concentração de MP_{2,5} em relação à direção do vento por meio da rosa de poluentes. Para que seja realizada esta análise, é necessário que as estações monitorem dados de direção e velocidade dos ventos, além de dados de concentração de poluentes.

Pode-se observar a influência da direção do vento nos valores de concentração de MP_{2,5} monitorados, onde verifica-se que as maiores concentrações registradas estão associadas a ventos provenientes do quadrante norte-leste, utilizando o ponto de localização da estação como referência.

Gráfico 18 - Distribuição das médias horárias das concentrações de MP_{2,5} em relação a direção do vento registrado na estação EMQAr – RGV4 (Enseada do Suá).

O Gráfico 19 apresenta a série histórica de monitoramento, para os 05 últimos anos, registrada para o poluente MP_{2,5} nas estações da RAMQAr.

Gráfico 19 - Séries históricas das médias aritméticas anuais das concentrações de MP_{2,5} nas estações da RAMQAr.

6.1.2 Partículas Inaláveis (MP₁₀)

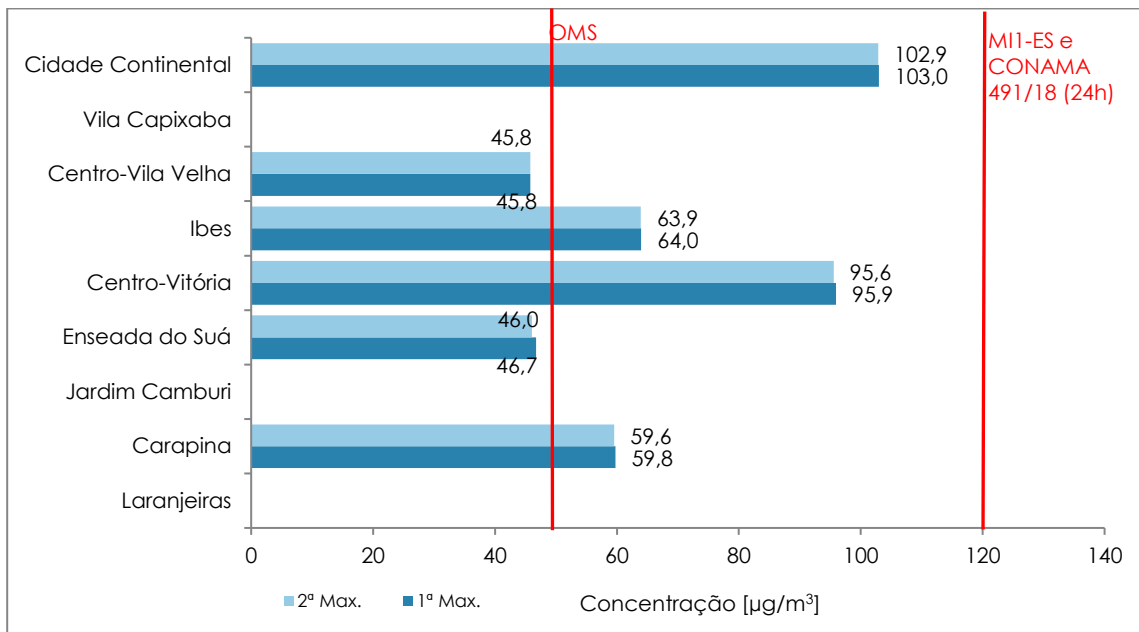
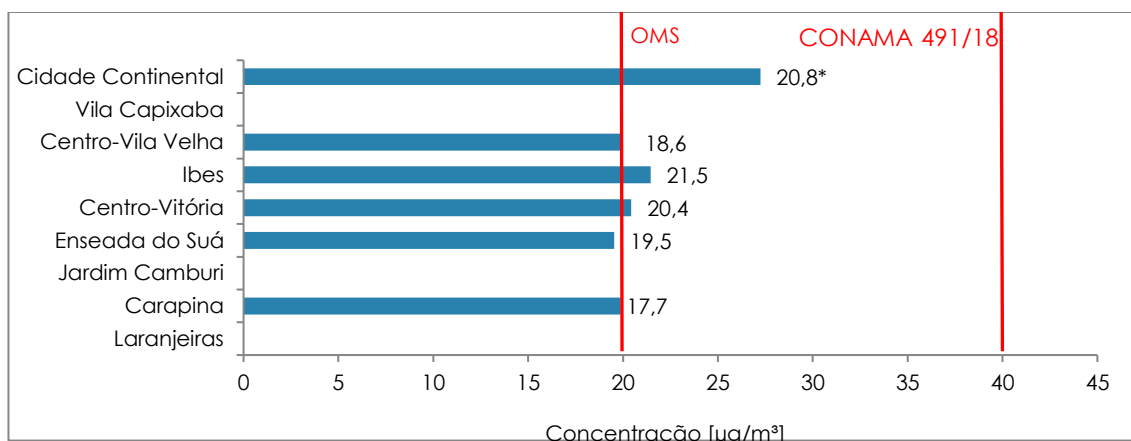
A Tabela 9 apresenta as máximas médias de 24 horas e as médias aritméticas anuais (MAA) obtidas a partir dos dados registrados, no ano de 2021, nas estações da RAMQAr para o poluente MP₁₀.

Tabela 9 - Valores das máximas médias de 24h e da MAA das concentrações de MP₁₀ (µg/m³).

Máxima	Laranjeiras	Carapina	Jardim Camburi	Enseada do Suá	Centro Vitória	Ibes	Centro Vila Velha	Vila Capixaba	Cidade Continental
1ª Max.	-	59,8	-	46,7	95,9	64,0	45,8	-	103,0
2ª Max.	-	59,6	-	46,0	95,6	63,9	45,8	-	102,9
Média Aritmética Anual	-	19,9	-	19,5*	20,4	21,5	19,9*	-	27,2*

*Média não representativa.

Nos Gráficos 20 e 21 pode-se verificar a comparação das médias calculadas a partir dos dados monitorados com o padrão de qualidade do ar vigente e com as diretrizes recomendadas pela OMS, considerando as médias de curta (24 horas) e longa (anual) exposição.

Gráfico 20 - Máximas médias de 24h das concentrações de MP₁₀ nas estações da RAMQAr.**Gráfico 21 - Médias aritméticas anuais das concentrações de MP₁₀ nas estações da RAMQAr.**

*Média não representativa.

A Tabela 10 apresenta o número de ultrapassagens registradas para o poluente MP₁₀ em relação ao padrão vigente, estabelecido pela Resolução CONAMA nº 491/2018, assim como em relação as diretrizes recomendadas pela OMS. Neste ponto esclarece-se que o padrão CONAMA foi considerado uma vez que é mais restritivo que a meta intermediária 1 (MI1) estabelecida no Decreto Estadual nº 3.463-R/2013.

Tabela 10 - Registro de ultrapassagens às médias de curta e longa duração para o parâmetro MP₁₀.

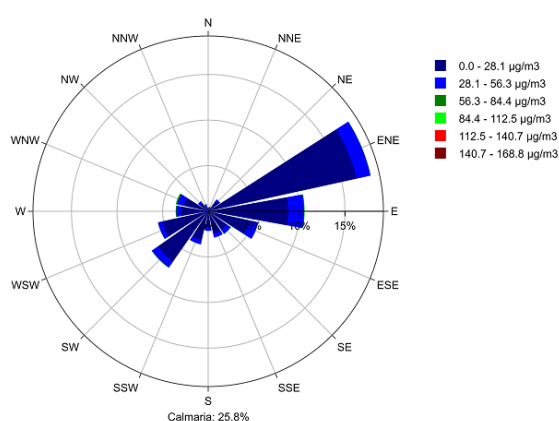
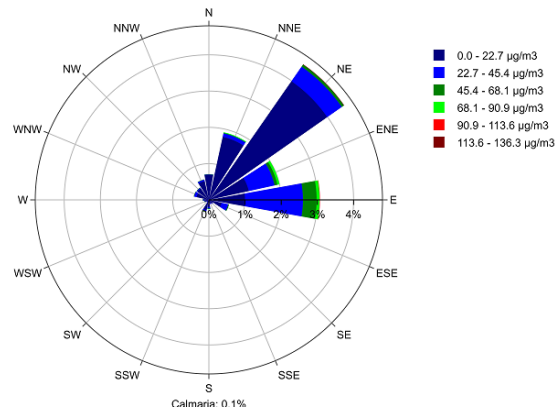
Referencial	Duração da Exposição	Laranjeiras	Carapina	Jardim Camburi	Enseada do Suá	Centro-Vitória	Ibes	Centro-Vila Velha	Vila Capixaba	Cidade Continental
		Número de ultrapassagens								
Resolução CONAMA nº 491/2018 (PI-1)	24h*	-	0	0	0	0	0	0	-	0
OMS	24h*	-	18	0	0	112	91	0	-	272
Resolução CONAMA nº 491/2018 (PI-1)	Anual**	-	Não	Não	Não	Não	Não	Não	-	Não
OMS	Anual**	-	Não	Não	Não	Sim	Sim	Não	-	Sim

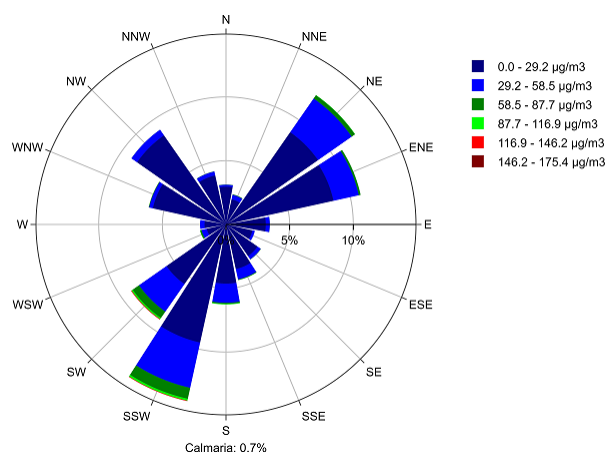
* Média de 24 horas

** Média Aritmética Anual

Com relação as diretrizes estabelecidas pela OMS, verificou-se o registro de ultrapassagens para os valores de curta exposição na EMQAr RGV 9 (Cidade Continental), EMQAr RGV 6 (Ibes), EMQAr RGV 2 e EMQAr RGV 5. Já em relação a diretriz estabelecida pela OMS para longa exposição ao MP₁₀ foram registradas ultrapassagens na EMQAr RGV 5 (Centro-Vitória), EMQAr RGV 6 (Ibes) e EMQAr RGV 9 (Cidade Continental).

O Gráfico 22 apresenta a distribuição dos dados horários de concentração de MP₁₀ em relação à direção do vento por meio da rosa de poluentes. Para que seja realizada esta análise, é necessário que as estações monitorem dados de direção e velocidade dos ventos, além de dados de concentração de poluentes.

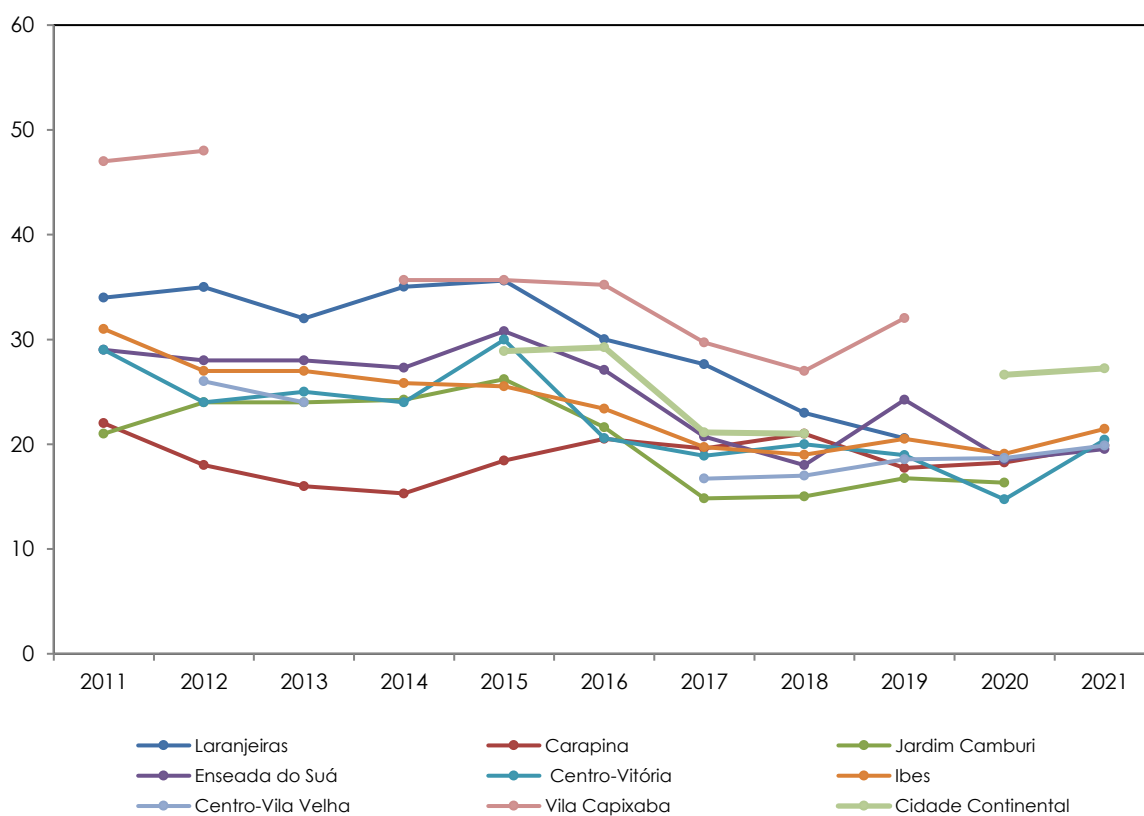
Gráfico 22 - Distribuição das médias horárias das concentrações de MP₁₀ em relação a direção do vento registrado nas estações (a) EMQAr – RGV2, (b) EMQAr – RGV4 e (c) EMQAr – RGV6.(a) Rosa de Poluentes - MP₁₀
EMQAr – RGV2 (Carapina)(b) Rosa de Poluentes - MP₁₀
EMQAr – RGV4 (Enseada do Suá)



(c) Rosa de Poluentes - MP₁₀
EMQAr – RGV6 (Vila Velha - Ibes)

O Gráfico 23 apresenta a série histórica de monitoramento, para os 10 últimos anos, registrada para o poluente MP₁₀ nas estações da RAMQAr.

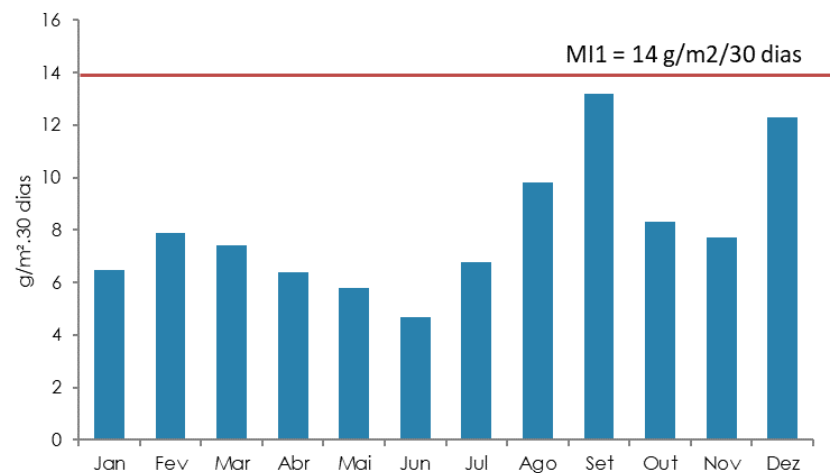
Gráfico 23 - Séries históricas das médias aritméticas anuais das concentrações de MP₁₀ nas estações da RAMQAr.



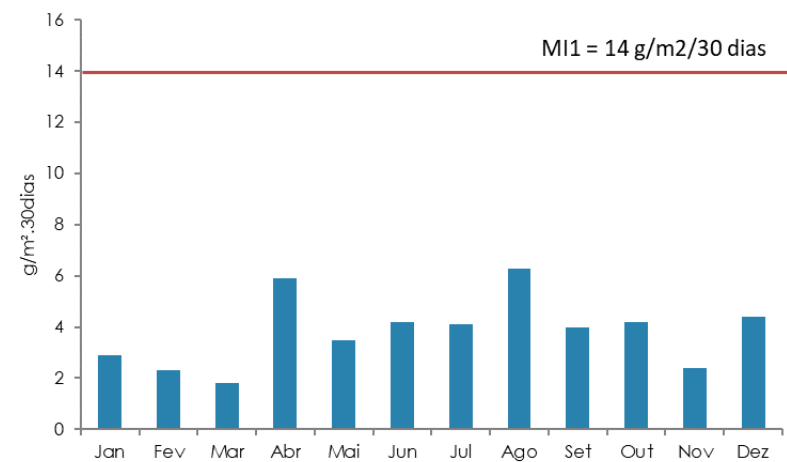
6.1.3 Poeira Sedimentável (PS)

O Gráfico 24 apresenta as medições de Poeira Sedimentável (PS), registradas nas estações que compõem a Rede Manual de poeira sedimentável da Grande Vitória (RMPS). Durante todo o ano não foram verificadas ultrapassagens ao padrão vigente para esse poluente (MI1-ES do Decreto nº 3.463R/2013)

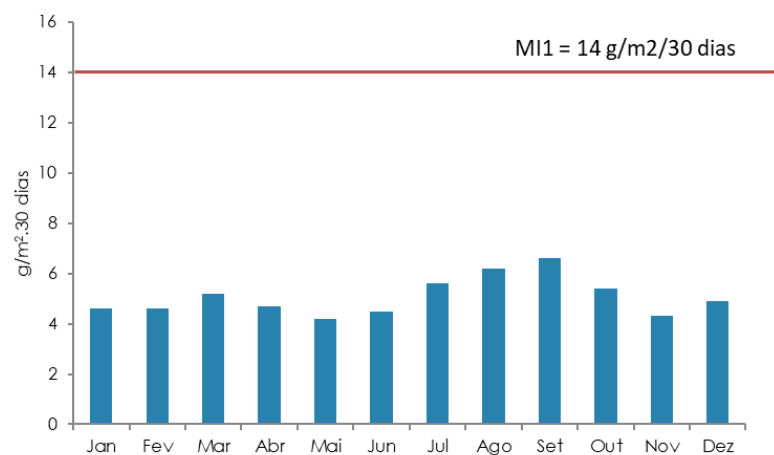
Já o Gráfico 25 apresenta a série histórica dos últimos cinco anos de monitoramento para este parâmetro nas estações da RMPS.

Gráfico 24 - Taxa de deposição de partículas ($\text{g}/\text{m}^2 \cdot 30 \text{ dias}$) nas estações de monitoramento de poeira sedimentável nas estações da RMPS (continua).

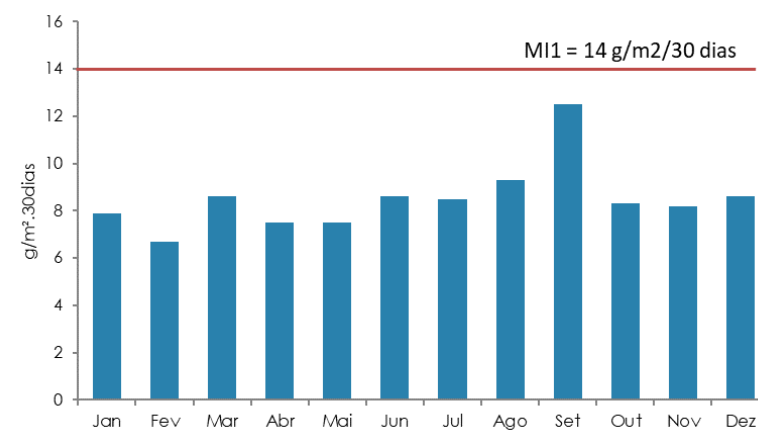
(a) PMPS – RGV1 - Laranjeiras



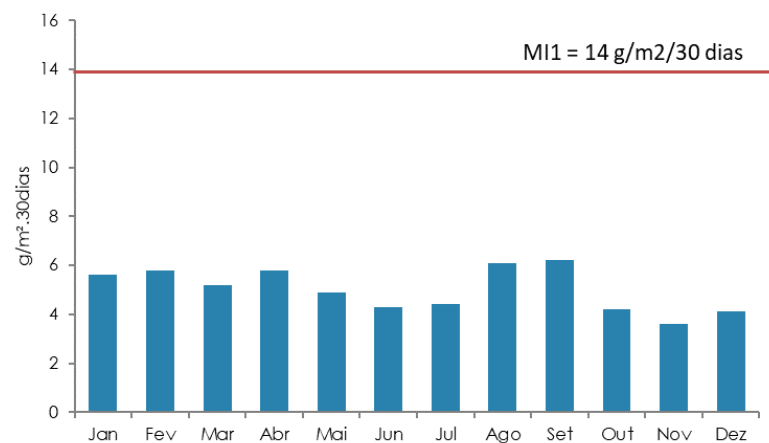
(b) PMPS – RGV2 - Carapina



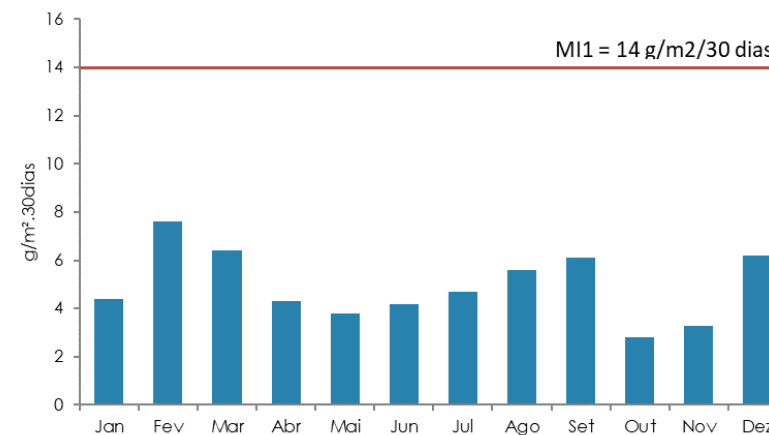
(c) PMPS – RGV3 - Jardim Camburi



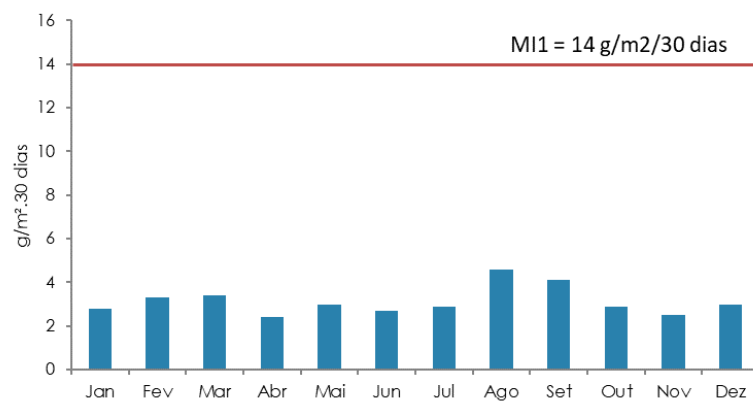
(d) PMPS – RGV4 - Enseada do Suá

Gráfico 24- Taxa de deposição de partículas ($\text{g}/\text{m}^2 \cdot 30 \text{ dias}$) nas estações de monitoramento de poeira sedimentável nas estações da RMPS (continua).

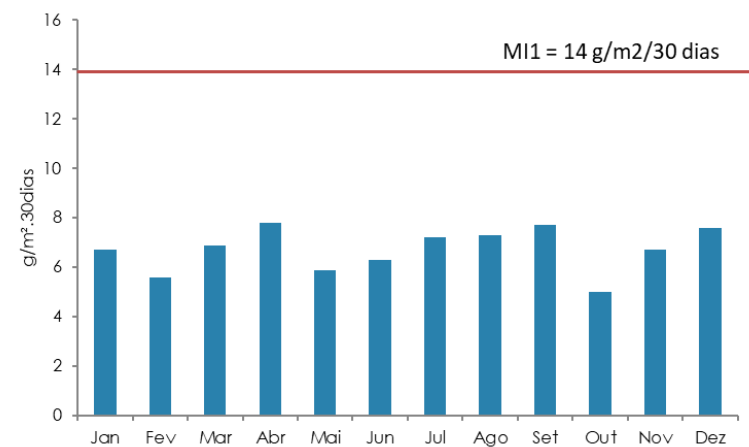
(e) PMPS – RGV5 – Vitória - Centro



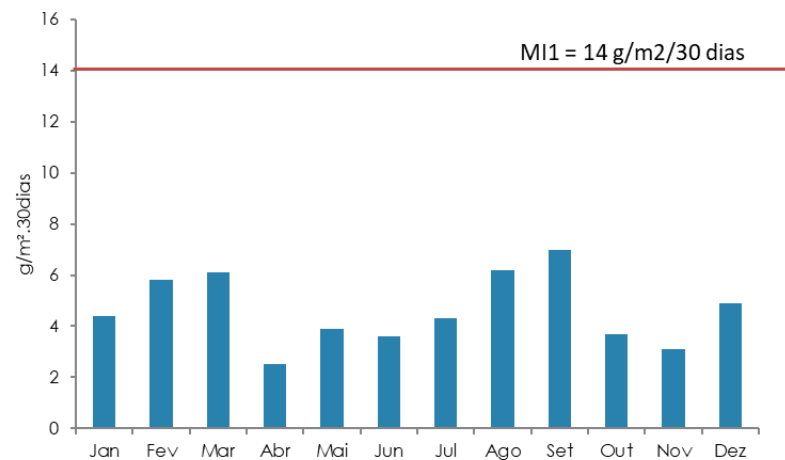
(f) PMPS – RGV6 – Vila Velha - Ibex



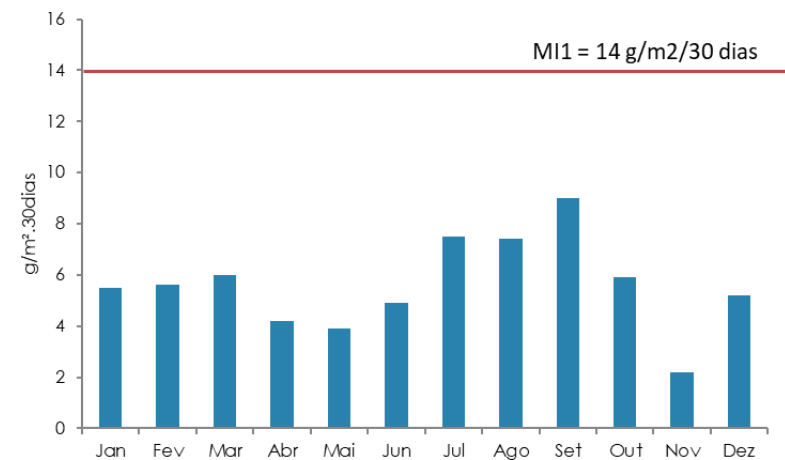
(g) PMPS – RGV7 – Vila Velha - Centro



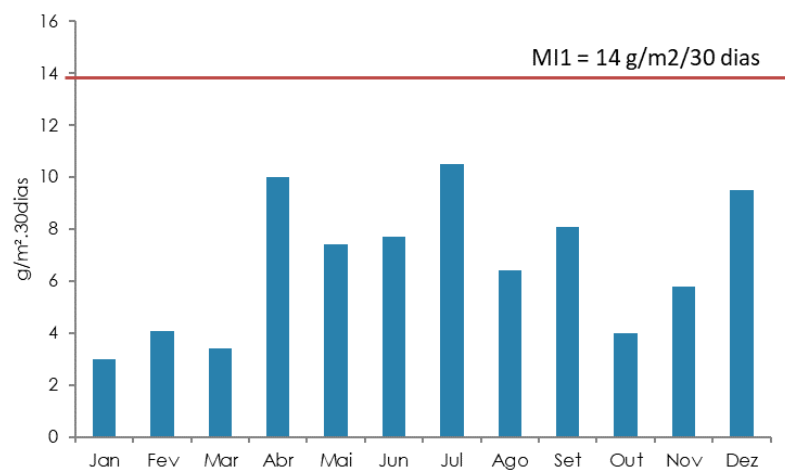
(h) PMPS – RGV8 - Vila Capixaba

Gráfico 24 - Taxa de deposição de partículas ($\text{g}/\text{m}^2 \cdot 30 \text{ dias}$) nas estações de monitoramento de poeira sedimentável nas estações da RMPS.

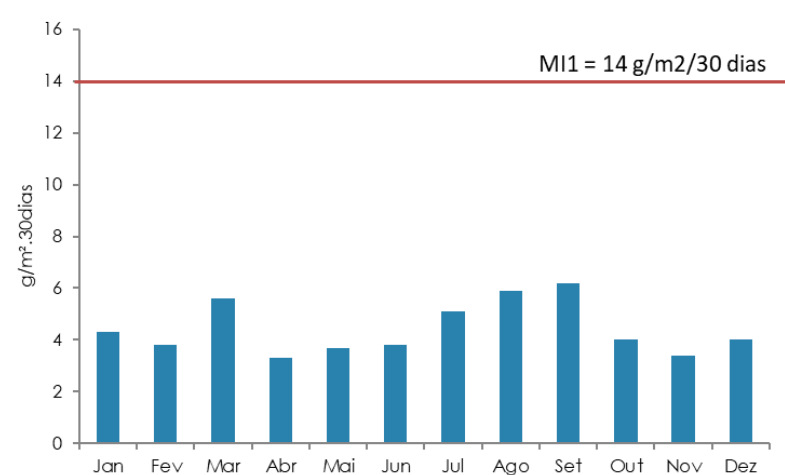
(i) PMPS – RGV9 – Hotel SENAC



(j) PMPS – RGV10 - Clube Ítalo

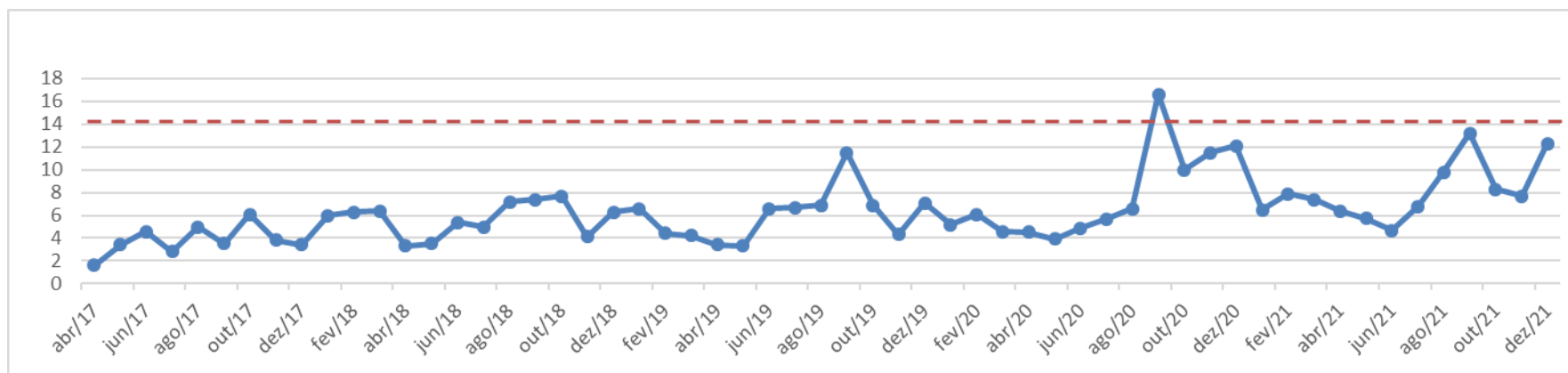


(k) PMPS – RGV11 – Cidade Continental

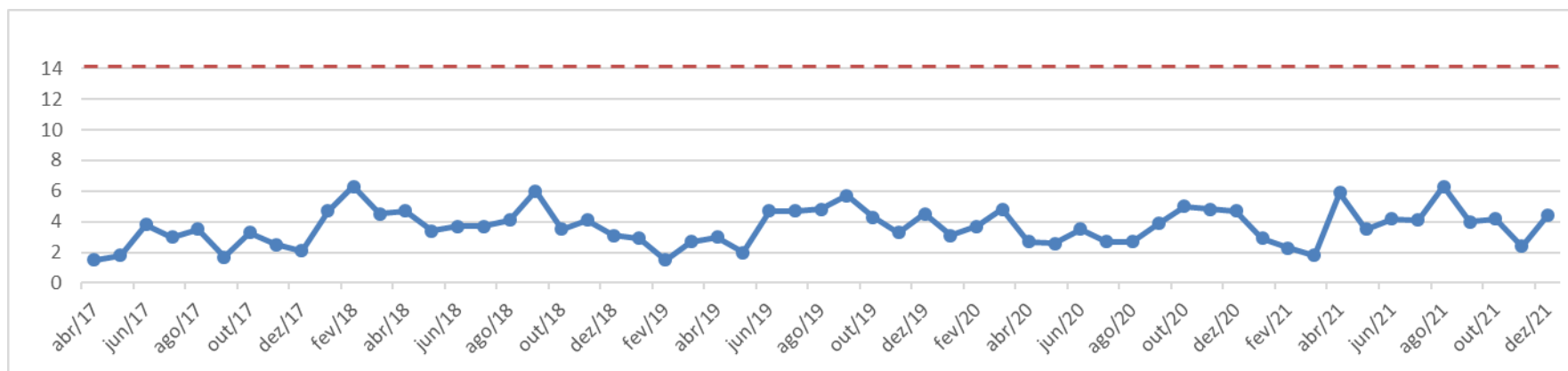


(l) PMPS – RGV12 – Hotel Aruan

Gráfico 25 - Série histórica da taxa de deposição de partículas para o período de abril de 2017 a dezembro de 2021 para as estações da RMPS (continua).

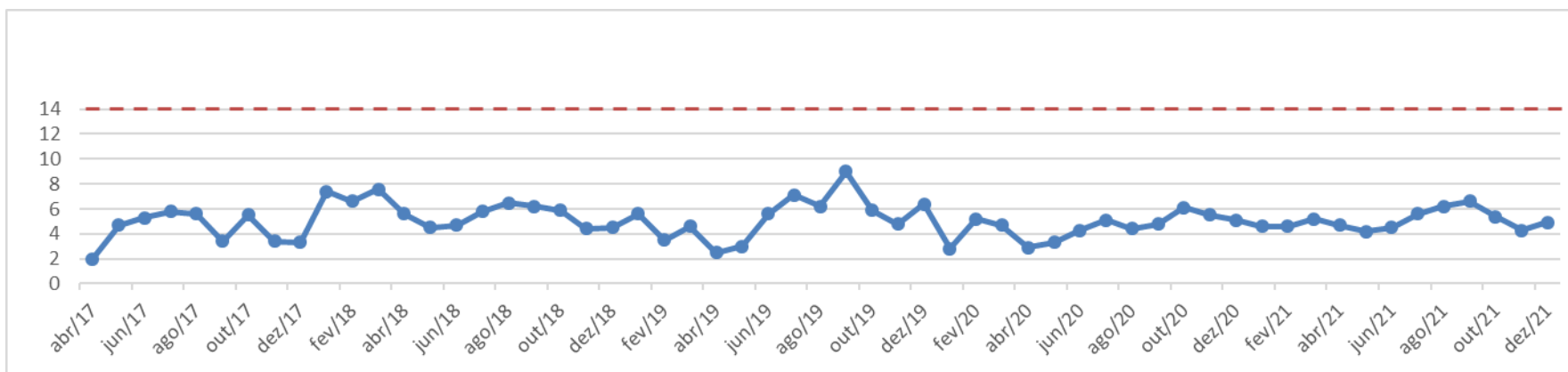


(a) PMPS – RGV1 - Laranjeiras

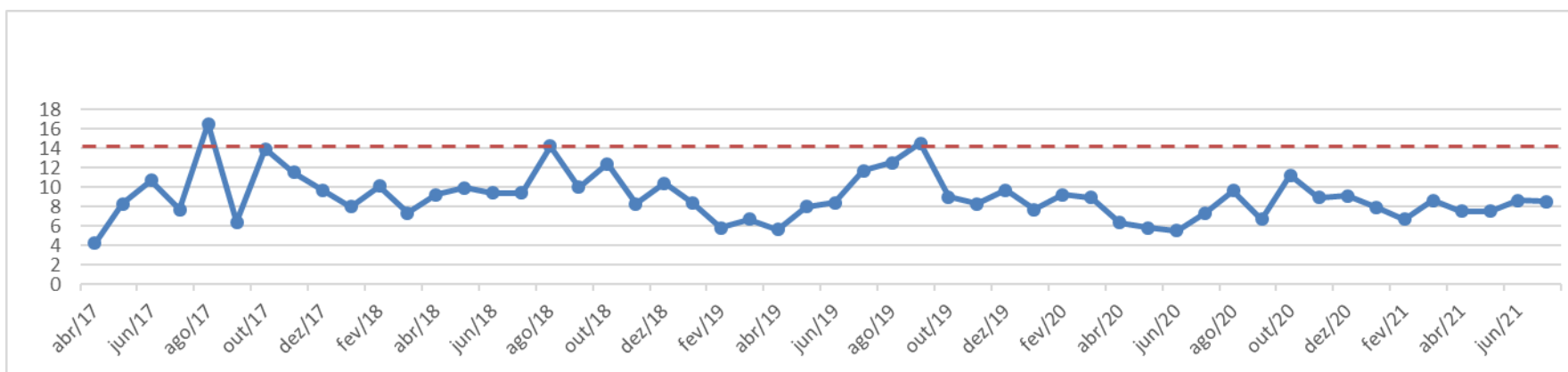


(b) PMPS – RGV2 – Carapina

Gráfico 25 - Série histórica da taxa de deposição de partículas para o período de abril de 2017 a dezembro de 2021 para as estações da RMPS (continua).

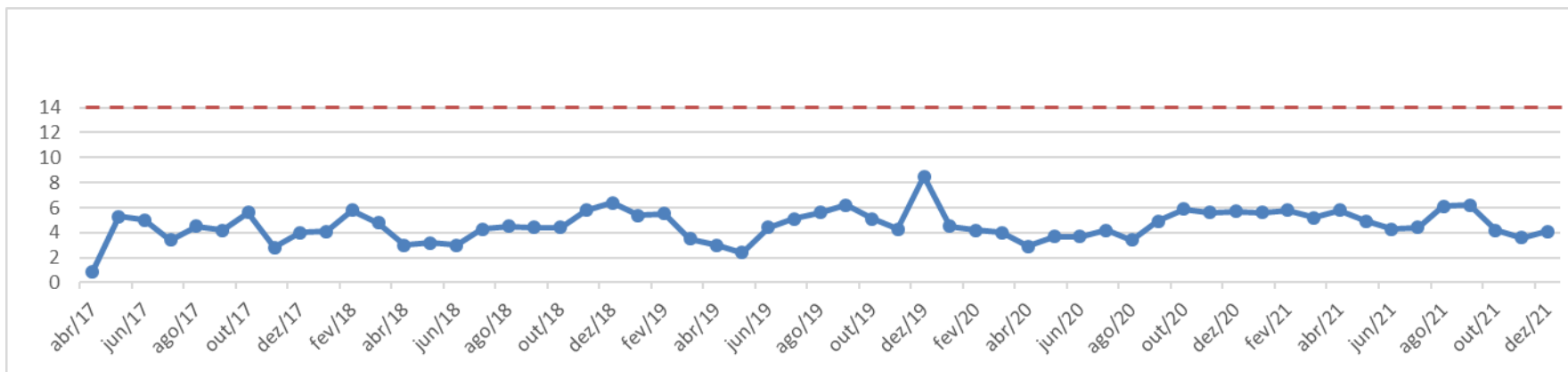


(c) PMPS – RGV3 - Jardim Camburi

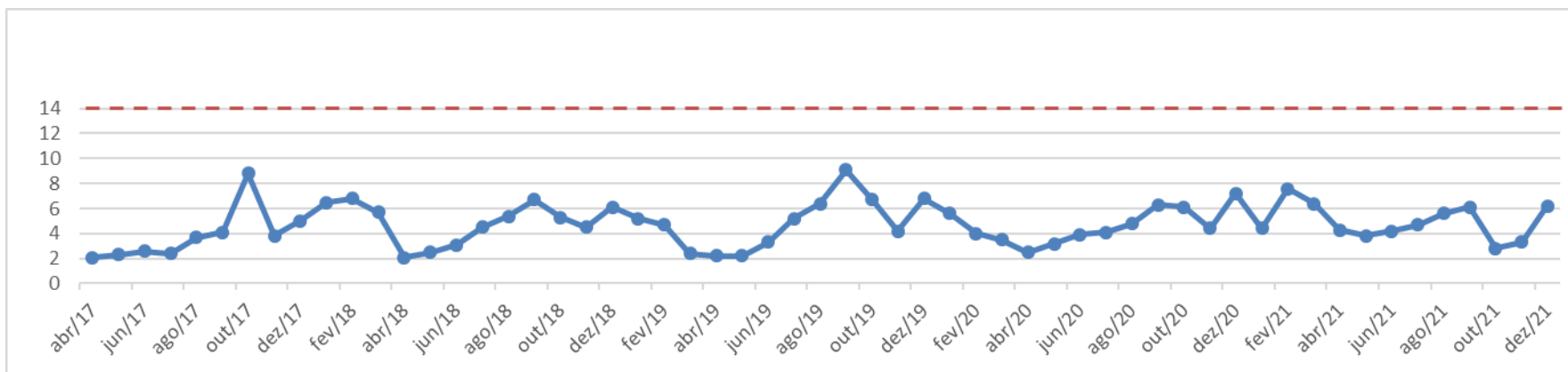


(d) PMPS – RGV4 - Enseada do Suá

Gráfico 25 - Série histórica da taxa de deposição de partículas para o período de abril de 2017 a dezembro de 2021 para as estações da RMPS (continua).

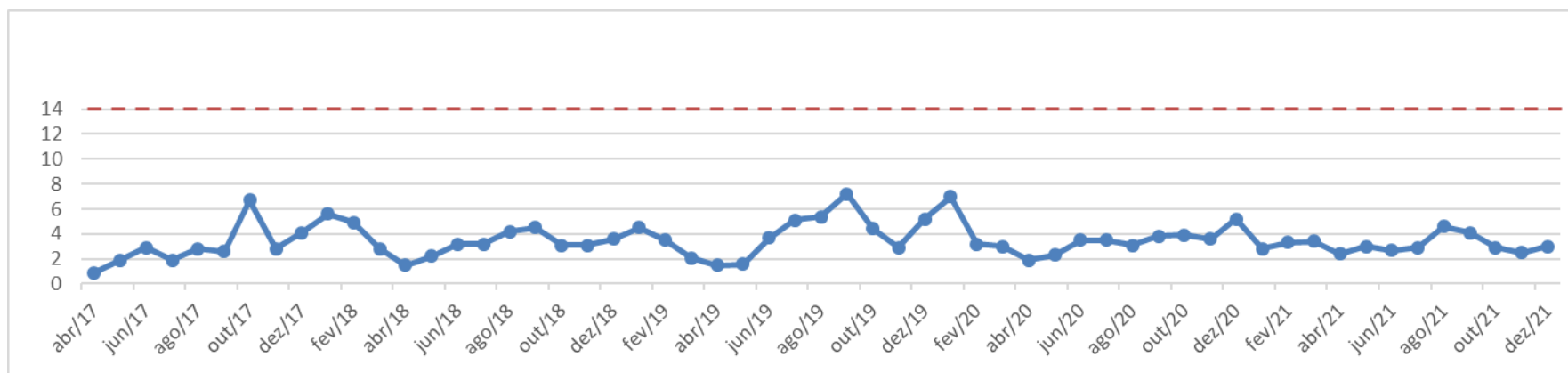


(e) PMPS – RGV5 - Vitória-Centro

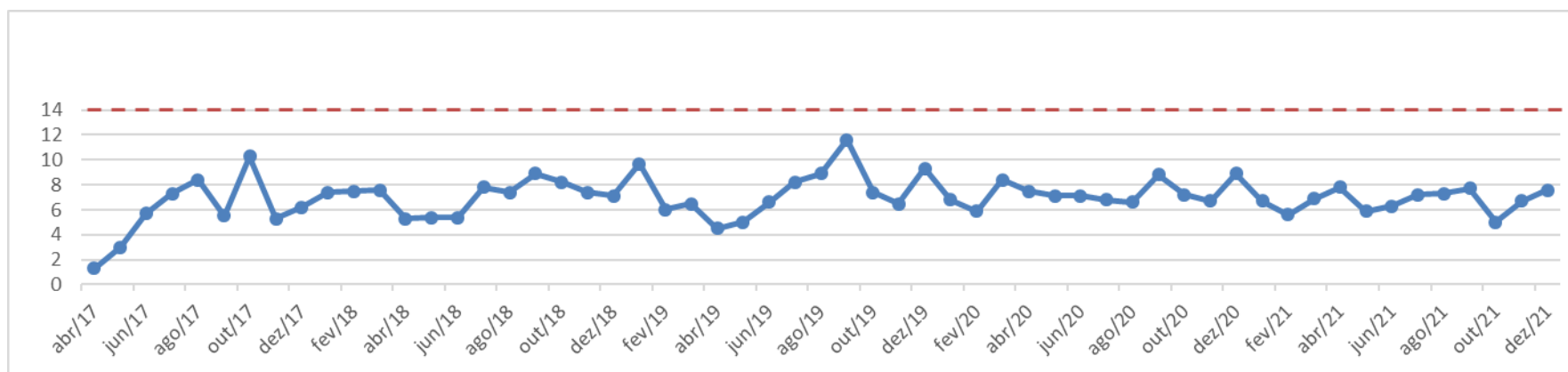


(f) PMPS – RGV6 - Vila Velha-Ibes

Gráfico 25 - Série histórica da taxa de deposição de partículas para o período de abril de 2017 a dezembro de 2021 para as estações da RMPS (continua).

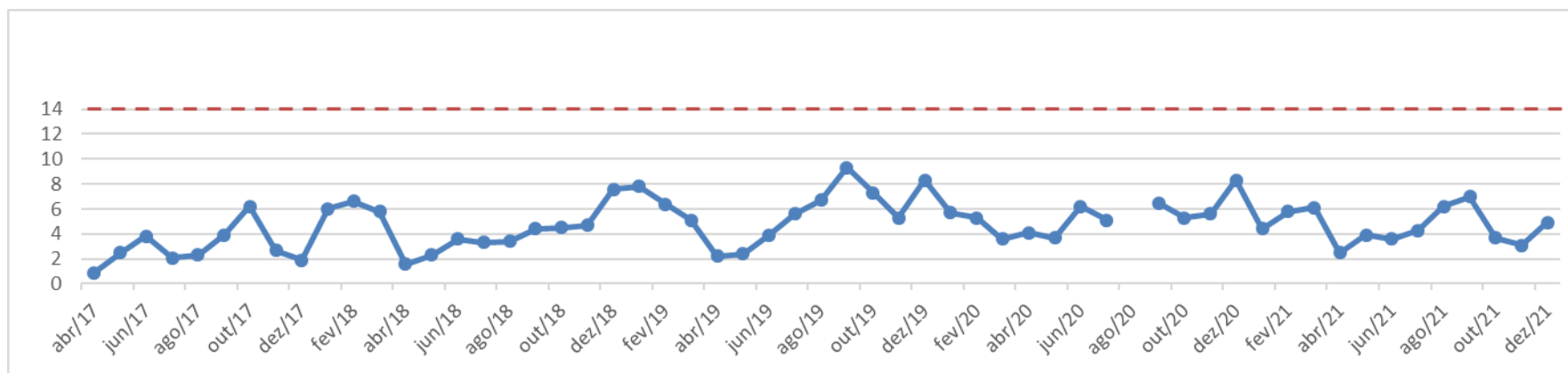


(g) PMPS – RGV7 - Vila Velha-Centro

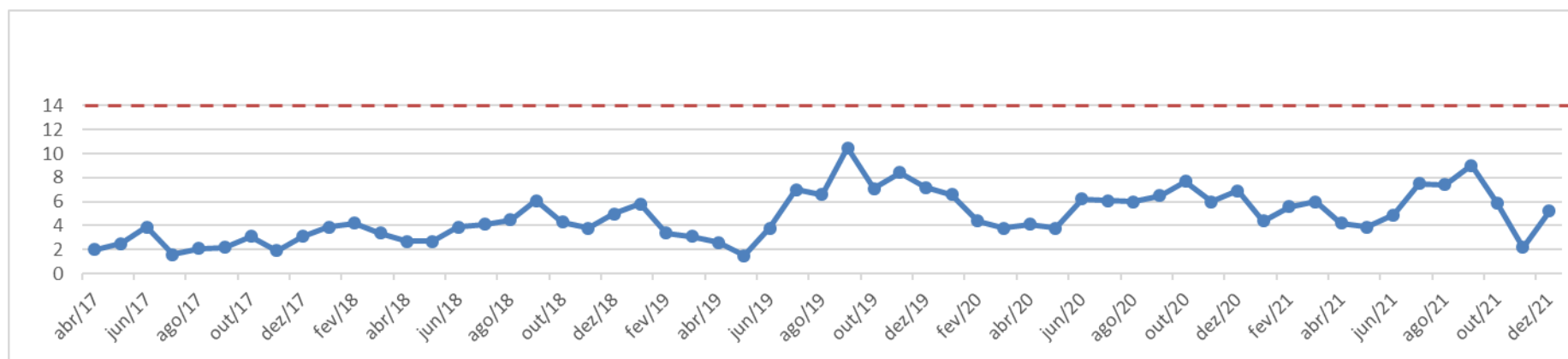


(h) PMPS – RGV8 - Vila Capixaba

Gráfico 25- Série histórica da taxa de deposição de partículas para o período de abril de 2017 a dezembro de 2021 para as estações da RMPS (continua).

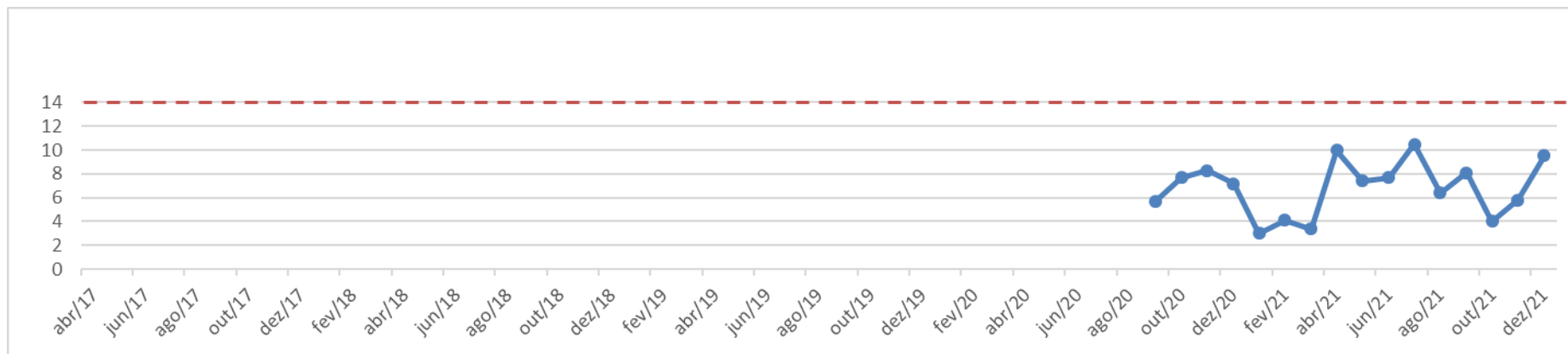


(h) PMPS – RGV9 - Hotel Senac

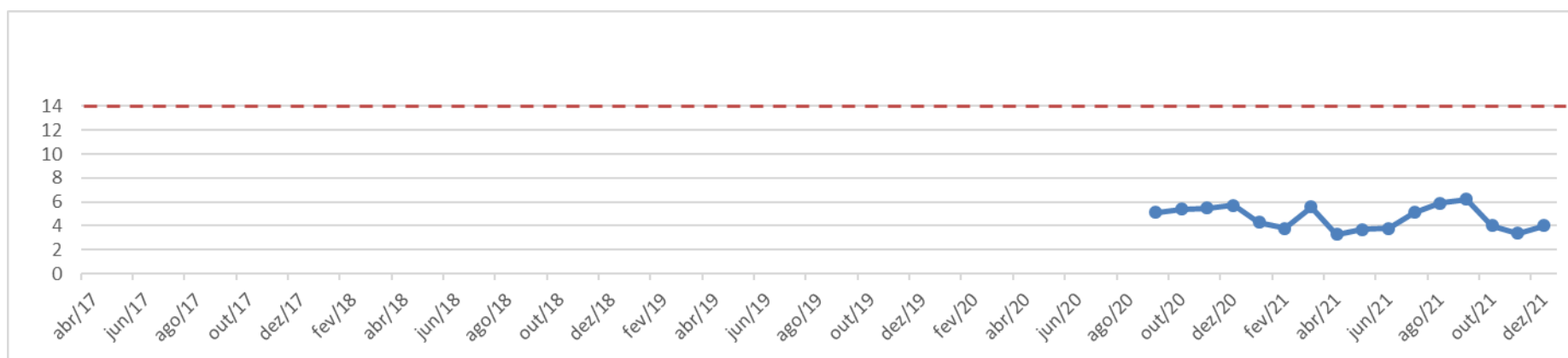


(i) PMPS – RGV10 - Clube Ítalo

Gráfico 25- Série histórica da taxa de deposição de partículas para o período de abril de 2017 a dezembro de 2021 para as estações da RMPS (continua).



(j) PMPS – RGV11 – Cidade Continental



(k) PMPS – RGV12 – Hotel Aruan

Considerando a série histórica estabelecida verifica-se que as estações Enseada do Sua e Vila Capixaba são as que apresentaram maiores taxas de deposição de poeira Sedimentável ao longo do tempo. Nos dois últimos anos, porém, nota-se um aumento gradativo das medições registradas na estação Laranjeiras.

6.2 Dióxido de Enxofre (SO₂)

A **Tabela 11** apresenta as máximas médias de 24 horas e as médias aritméticas anuais (MAA) obtidas a partir dos dados registrados nas estações para o ano de 2021 para SO₂.

Tabela 11 - Valores das máximas médias de 24 horas e da MAA de concentração de SO₂ (µg/m³).

Máxima	Laranjeiras	Jardim Camburi	Enseada do Suá	Centro Vitória	Ibes	Centro Vila Velha	Vila Capixaba	Cidade Continental
1ª Max.	-	13,2	25,8	14,4	23,6	-	-	6,4
2ª Max.	-	13,2	25,7	14,4	23,6	-	-	6,4
MAA	-	3,7*	4,0	4,8	6,0	-	-	0,6

*Média não representativa.

Nos Gráficos 26 e 27 pode-se verificar a comparação das médias calculadas a partir dos dados monitorados com o padrão de qualidade do ar vigente (MI1-ES), considerando as médias de curta (24 horas) e longa (anual) exposição.

Gráfico 26 - Máximas médias de 24h das concentrações de SO₂ nas estações da RAMQAr.

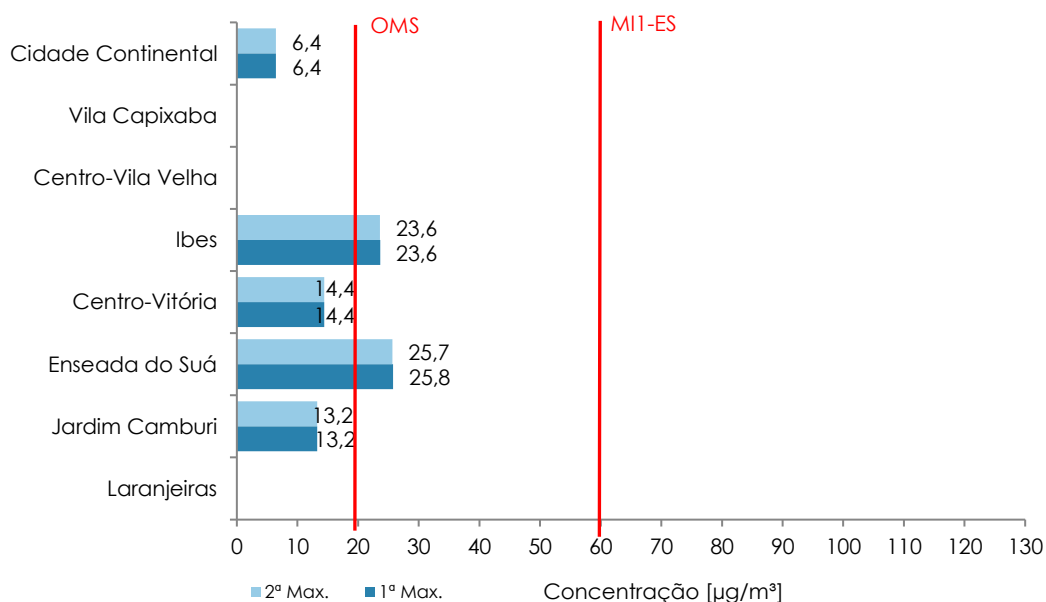
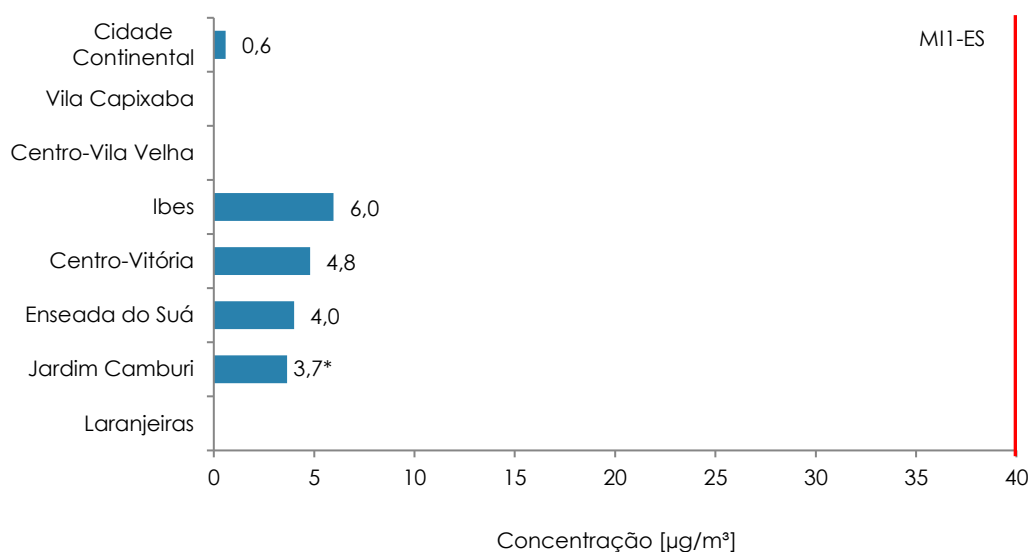


Gráfico 27 - Médias aritméticas anuais das concentrações de SO₂ nas estações da RAMQAr.

*Média não representativa.

A média de 24 horas mais elevada de SO₂ foi registrada na EMQAr – RGV4 (Enseada do Suá), com o valor de 25,8 µg/m³. Quando observado a diretriz da OMS para curta exposição (20 µg/m³), verificaram-se ultrapassagens nas estações Enseada do Suá e IBES.

A Tabela 12 apresenta o número de ultrapassagens registradas para o poluente SO₂ em relação à legislação vigente (MI1- ES) e às diretrizes da OMS.

Tabela 12 - Número ultrapassagens aos valores limites de concentração de SO₂.

Referencial	Duração da Exposição	Laranjeiras	Jardim Camburi	Enseada do Suá	Centro-Vitória	Ibes	Centro-Vila Velha	Vila Capixaba	Cidade Continental
Número de ultrapassagens									
MI1-ES	Anual**	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
MI1-ES	24 horas*	0	0	0	0	0	0	0	0
OMS	24 horas*	0	0	29	0	74	0	0	0

* Média de 24 horas

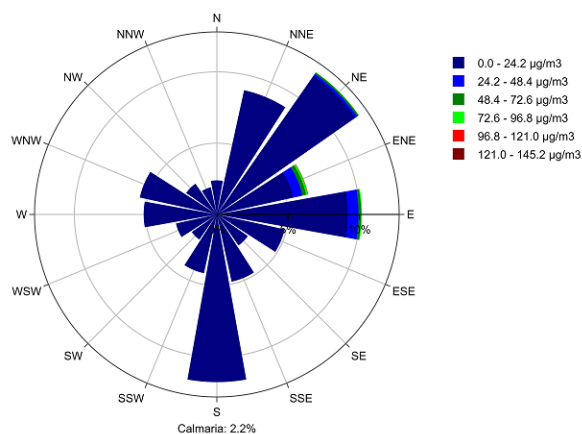
** Média Aritmética Anual

Quando observado as diretrizes de curta exposição da OMS para o SO₂ verifica-se que na EMQAr – RGV4 (Enseada do Suá) foi registrado o maior número de ultrapassagens (29).

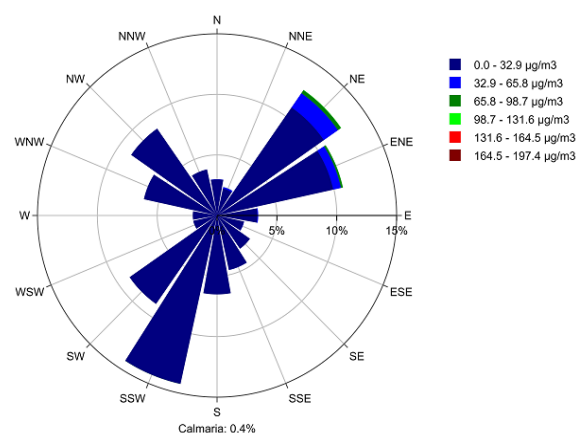
O Gráfico 28 apresenta a distribuição dos dados horários de concentração de SO₂ em relação à direção do vento por meio da rosa de poluentes. Para que seja realizada esta análise, é necessário que as estações monitorem dados de direção e velocidade dos ventos, além de dados de concentração de poluentes.

Pode-se observar a influência da direção do vento nos valores de concentração de SO_2 monitorados, onde verifica-se que as maiores concentrações registradas estão associadas a ventos provenientes do quadrante norte-leste, utilizando o ponto de localização da estação como referência.

Gráfico 28 - Perfil das médias horárias das concentrações de SO_2 nas estações da RAMQAr com relação à direção do vento (gráfico da rosa de poluentes).



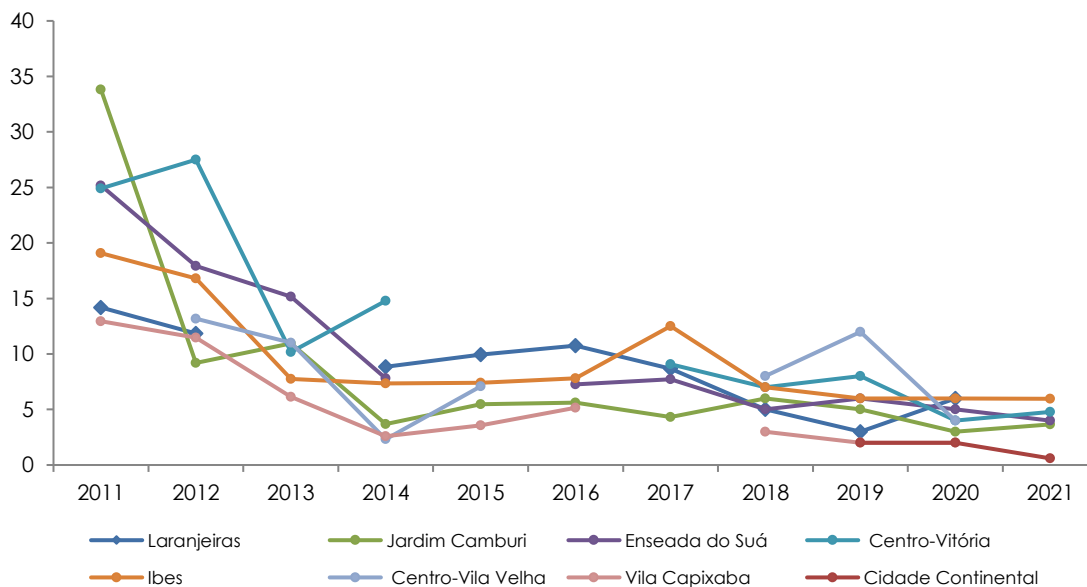
(a) Rosa de Poluentes – SO_2
EMQAr – RGV4 (Enseada do Suá)



(b) Rosa de Poluentes – SO_2
EMQAr – RGV6 (Ibes)

O registro histórico das médias anuais da concentração de SO_2 monitoradas nas estações da RAMQAR pode ser visualizado no Gráfico 29.

Gráfico 29 - Séries históricas das médias aritméticas anuais da concentração de SO_2 nas estações da RAMQAr.



6.3 Dióxido de Nitrogênio (NO₂)

A Tabela 13 apresenta as máximas médias horárias e as médias aritméticas anuais (MAA) obtidas a partir dos dados registrados nas estações para o ano de 2021 para NO₂.

Tabela 13 - Valores das máximas médias horárias e da MAA das concentrações de NO₂ (µg/m³).

Referencial	Laranjeiras	Jardim Camburi	Enseada do Suá	Centro Vitória	Ibes	Vila Capixaba	Cidade Continental
1ª Max.	71,8	89,4	72,4	56,0	83,0	99,4	37,6
2ª Max.	68,0	79,7	71,9	55,9	80,6	96,6	36,9
Média Aritmética Anual	15,3	18,2	19,4	12,6*	15,5	28,2	6,8

*Média não representativa.

Nos Gráficos 30 e 31 pode-se verificar a comparação das médias calculadas a partir dos dados monitorados com o padrão de qualidade do ar vigente (MI1-ES), considerando as médias de curta (1 hora) e longa (anual) exposição.

Gráfico 30 - Máximas médias de 1h das concentrações de NO₂ nas estações da RAMQAr.

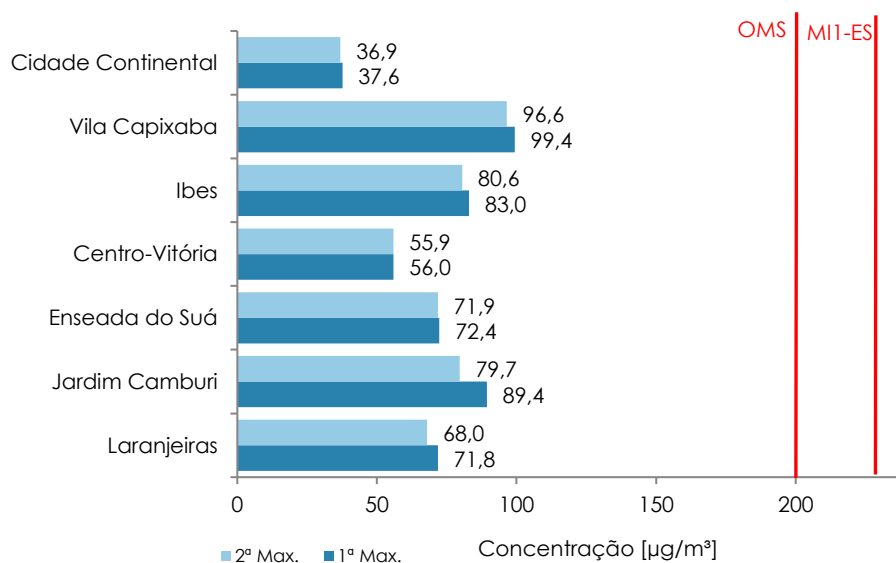
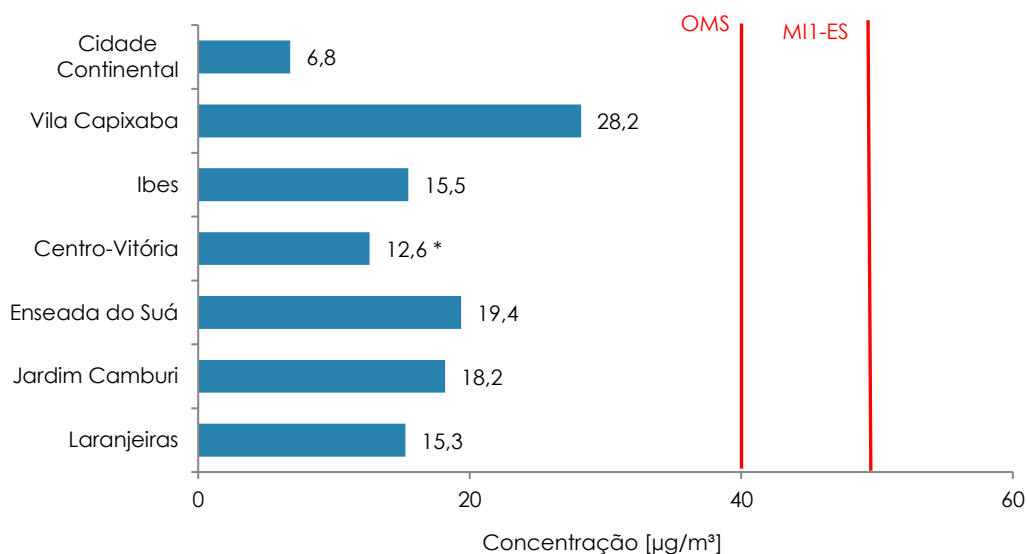


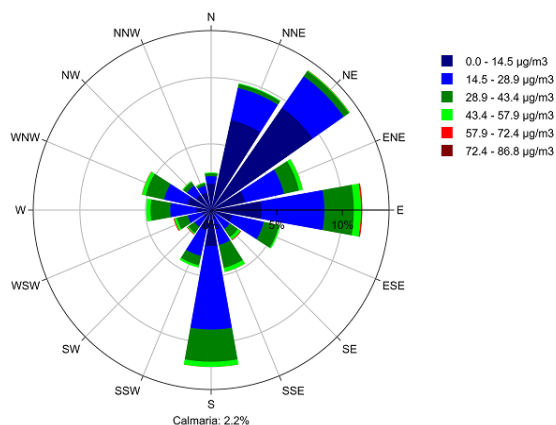
Gráfico 31 - Médias aritméticas anuais das concentrações de NO₂ nas estações da RAMQAr.

*Média não representativa.

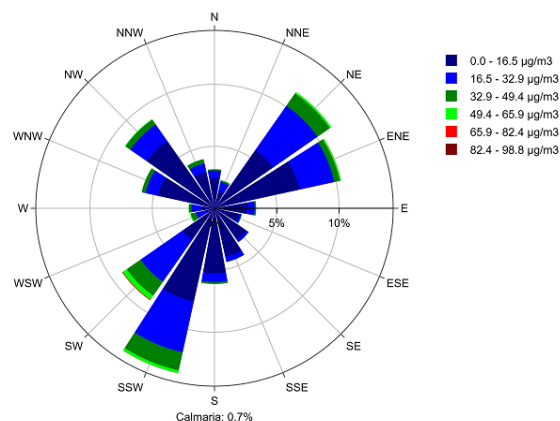
O valor máximo de concentração de NO₂ para a média de curta exposição foi registrado na estação Vila Capixaba (99,4 μg/m³), enquanto que o menor valor para média de curta duração foi registrado na estação Cidade Continental (36,9 μg/m³). Para o ano de 2021 não foram identificados registros de ultrapassagem a diretriz da OMS para curta e longa exposição ao NO₂. A maior média aritmética anual para este poluente foi obtida na estação Vila Capixaba, que resultou no valor de 28,2 μg/m³.

Igualmente, durante o ano de 2021, não ocorreram ultrapassagens do Decreto Estadual Decreto nº 3.463-R/2013 para o poluente NO₂ para curta e longa exposição. O Gráfico 32 apresenta a distribuição dos dados horários de concentração de NO₂ em relação à direção do vento por meio da rosa de poluentes. Para que seja realizada esta análise, é necessário que as estações monitorem dados de direção e velocidade dos ventos, além de dados de concentração de poluentes.

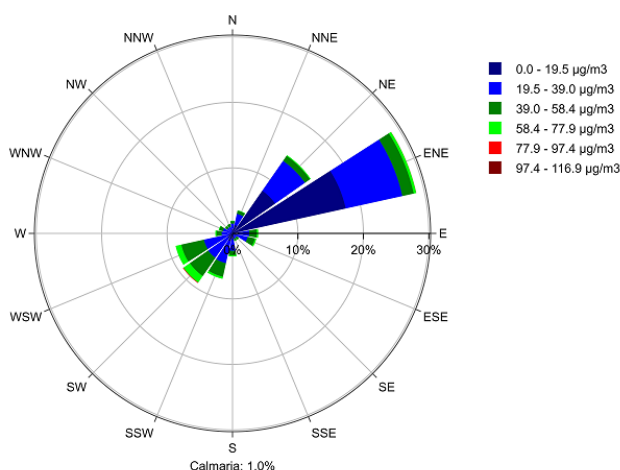
Gráfico 32 - Perfil das médias horárias da concentração de NO₂ nas estações da RAMQAr com relação à direção do vento (gráfico de rosa de poluentes).



(a) Rosa de Poluentes – NO₂
EMQAr – RGV4 (Enseada do Suá)



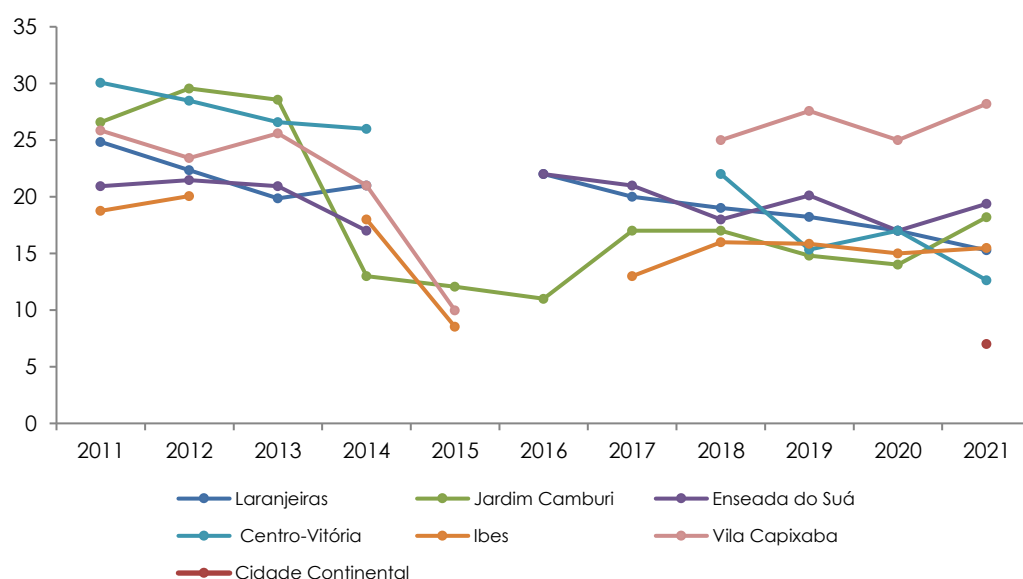
(b) Rosa de Poluentes – NO₂
EMQAr – RGV6 (Ibes)



(c) Rosa de Poluentes – NO₂
EMQAr – RGV8 (Vila Capixaba)

Pode-se observar a influência da direção do vento nos valores de concentração de NO₂ monitoradas: (i) Na estação Enseada do Suá, observa-se maior incidência de concentrações superiores a 40 µg/m³ nas direções leste-nordeste (ENE) e sul; (ii) Na estação Ibes foi observado maiores concentrações nos vento oriundas do nordeste e sudoeste; (iii) Na estação Vila Capixaba observa-se a que as maiores concentrações estão associadas ao quadrante N-E.

O registro histórico das médias anuais de NO₂ monitoradas nas estações da RAMQAR pode ser visualizado no Gráfico 33.

Gráfico 33 - Séries históricas das médias anuais das concentrações de NO₂ nas estações RAMQAr.

6.4 Ozônio (O₃)

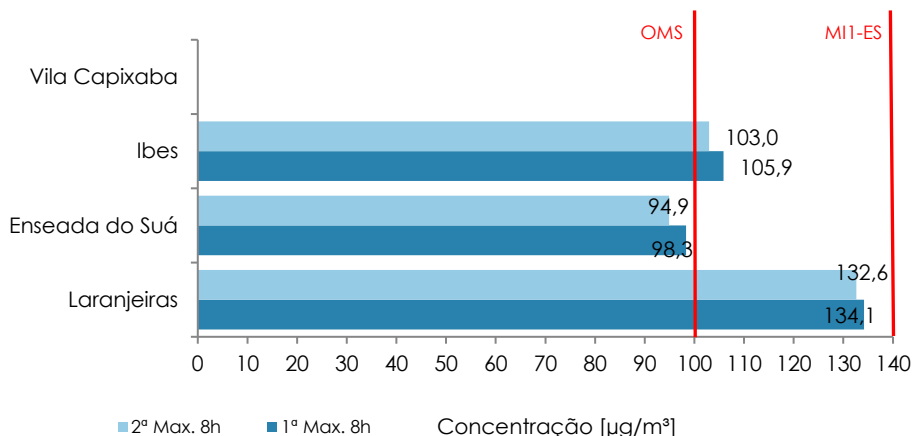
A Tabela 14 apresenta as máximas médias de 8 horas e as médias aritméticas anuais (MAA) obtidas a partir dos dados registrados nas estações para o ano de 2021 para O₃.

Tabela 14 - Máximas médias de 8h das concentrações de O₃ em (µg/m³).

Referencial	Laranjeiras	Enseada do Suá	Ibes	Vila Capixaba
1ª Max. (8h)	134,1	98,3	105,9	-
2ª Max. (8h)	132,6	94,9	103,0	-

(*) Valores não representativos.

No Gráfico 34 pode-se verificar a comparação das médias calculadas a partir dos dados monitorados com o padrão de qualidade do ar vigente (MI1-ES), considerando as médias de 8 horas.

Gráfico 34 - Máximas médias 8h para as concentrações de O₃ nas estações da RAMQAr.

As médias de 8 horas calculadas foram mais elevadas na estação de Laranjeiras (134,1 µg/m³), estando acima do valor estabelecido pela OMS como diretriz, ultrapassagem que também foi verificada na estação IBES.

Segundo a OMS, apesar de existirem evidências científicas sobre os efeitos à saúde devido à longa exposição ao O₃, essas evidências ainda não são suficientes para sustentar a indicação de uma diretriz ou padrão associado à média anual (OMS, 2005).

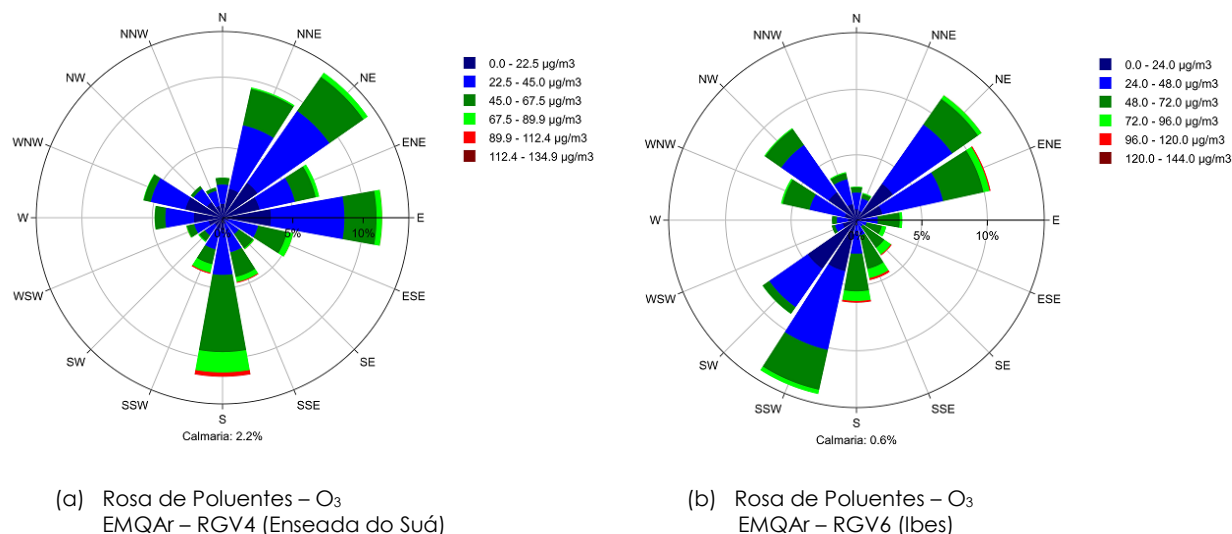
A Tabela 15 apresenta o número de ultrapassagens registradas para o poluente O₃ em relação à legislação vigente (MI1- ES) e às diretrizes da OMS.

Tabela 15 - Número de médias de 8 horas que ultrapassaram os valores limites de concentração de O₃.

Referencial	Duração da Exposição	Laranjeiras	Enseada do Suá	Ibes	Vila Capixaba
		Número de ultrapassagens			
MI1-ES e Resolução CONAMA nº 491/2018 (PI-1)	8h	0	0	0	0
OMS	8h	58	0	7	0

O Gráfico 35 apresenta o perfil de concentração de O₃ em relação à direção do vento por meio da rosa de poluentes. As concentrações indicadas no gráfico representam a distribuição das concentrações em relação à direção do vento medida na estação.

Gráfico 35 - Perfil das médias horárias das concentrações de O₃ nas estações da RAMQAr com relação à direção do vento (gráfico de rosa de poluentes).



Pode-se observar a influência de todas as direções do vento nos valores de concentração de O₃ monitorados. O O₃ é um poluente secundário, não sendo diretamente emitido por nenhuma fonte direta, mas formado na atmosfera a partir de reações químicas de outros poluentes.

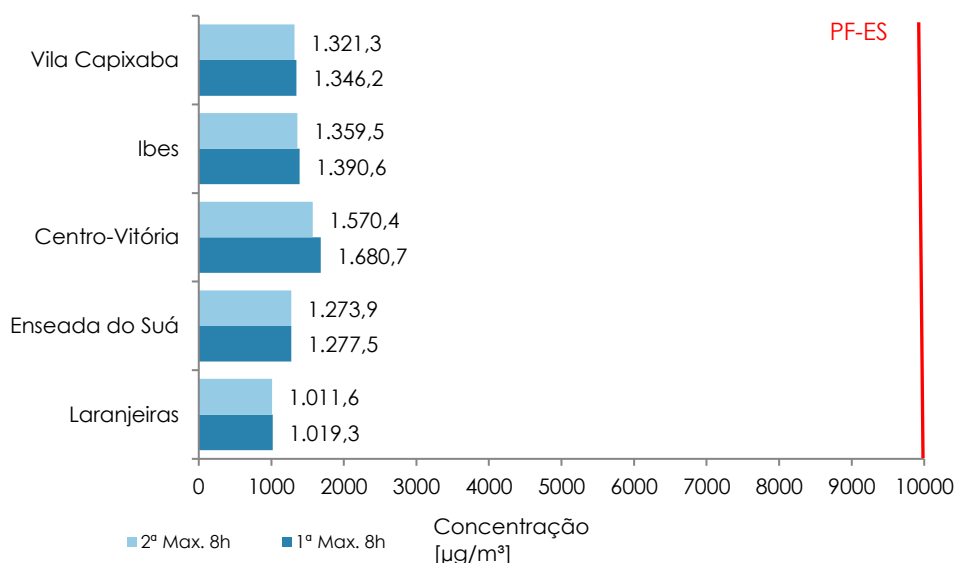
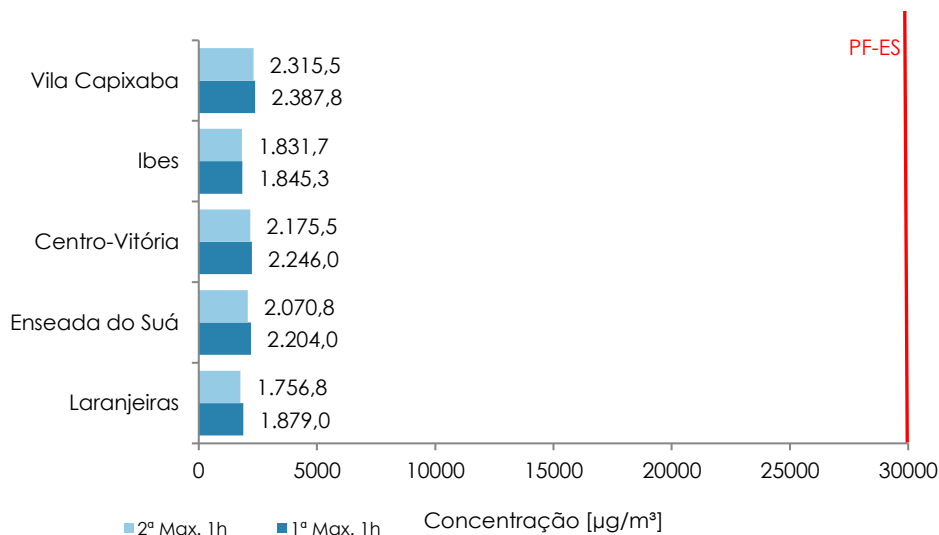
6.5 Monóxido de Carbono (CO)

A Tabela 16 apresenta as máximas médias de 1h e 8h (curta exposição) obtidas a partir dos dados registrados nas estações para o ano de 2021 para CO.

Tabela 16 - Máximas horárias de 1h e 8h e da MAA das concentrações de CO (µg/m³).

Referencial	Laranjeiras	Enseada do Suá	Centro-Vitória	Ibes	Vila Capixaba
1ª Max. (1h)	1.879,0	2.204,0	2.246,0	1.845,3	2.387,8
2ª Max. (1h)	1.756,8	2.070,8	2.175,5	1.831,7	2.315,5
1ª Max. (8h)	1.019,3	1.277,5	1.680,7	1.390,6	1.346,2
2ª Max. (8h)	1.011,6	1.273,9	1.570,4	1.359,5	1.321,3

Nos Gráficos 36 e 37 pode-se verificar a comparação das médias calculadas a partir dos dados monitorados com o padrão de qualidade do ar vigente (PF-ES), considerando as médias de 1 e 8 horas.

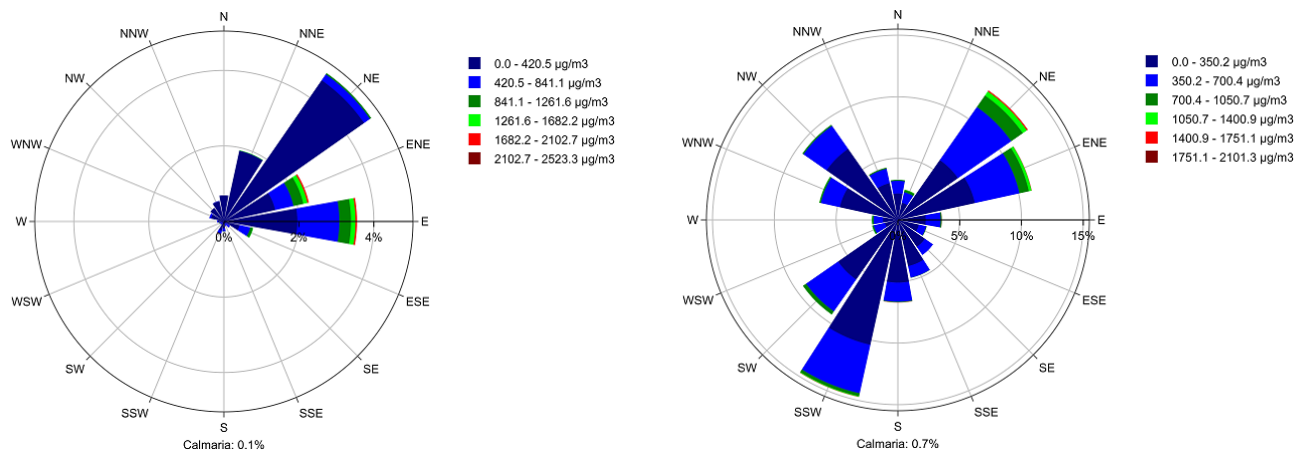
Gráfico 36 - Máximas das médias de 8h das concentrações de CO nas estações da RAMQAr.**Gráfico 37 - Máximas das médias de 1h das concentrações de CO nas estações da RAMQAr.**

Os valores máximos das médias de 8h de concentração de CO foram mais elevados na estação Vila Capixaba (2.387,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Com relação as máximas médias de 1 hora de concentração de CO, foi registrado o valor mais elevado na estação Centro de Vitória (1.680,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Para este poluente, o Estado do Espírito Santo adota como padrões (PF-ES) as diretrizes sugeridas pela OMS, não sendo verificadas ultrapassagens nas médias de 1h e 8h registradas no ano de 2021. O Gráfico 38 apresenta o perfil de concentração de CO em relação à direção do vento por meio da rosa de poluentes. As concentrações indicadas no gráfico representam a distribuição das concentrações em relação à direção do vento medida naquela estação e foram usados somente os dados das

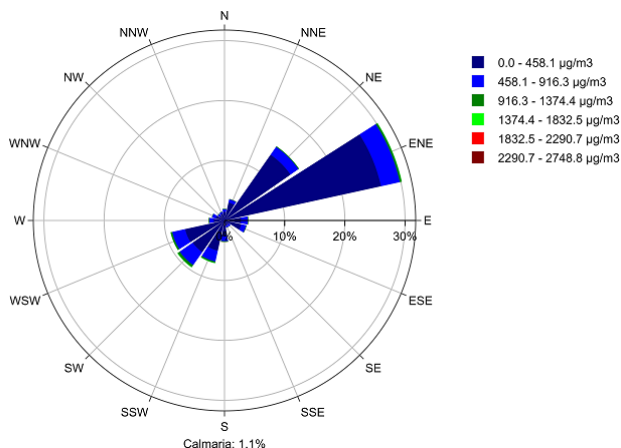
estações que apresentavam monitoramento do poluente e do vento para o cálculo da rosa de poluentes.

Gráfico 38 - Perfil das médias horárias da concentração de CO nas estações da RAMQAr com relação à direção do vento (gráfico da rosa de poluentes).



(a) Rosa de Poluentes – CO
EMQAr – RGV4 (Enseada do Suá)

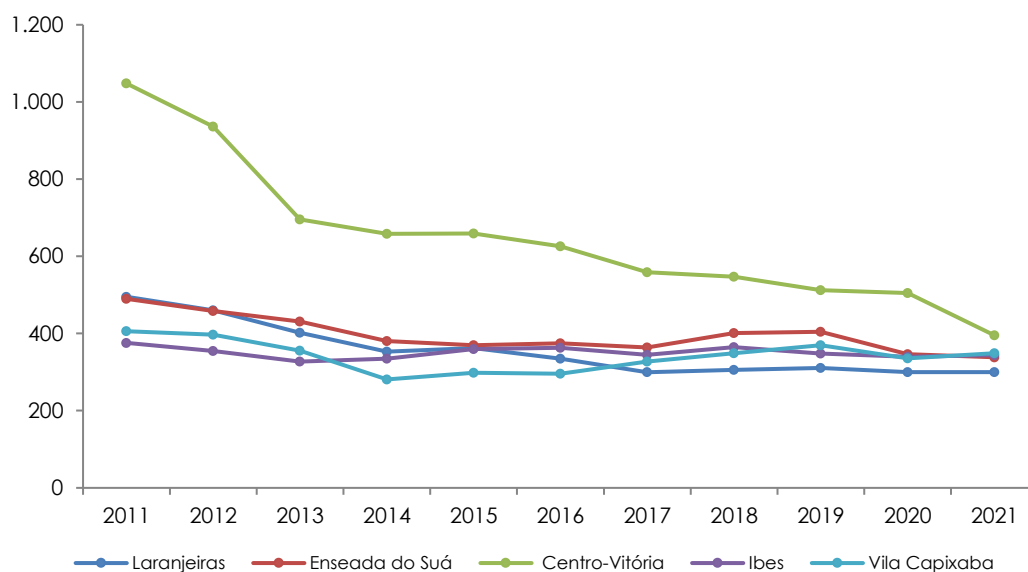
(b) Rosa de Poluentes – CO
EMQAr – RGV6 (Ibes)



(c) Rosa de Poluentes – CO
EMQAr – RGV8 (Vila Capixaba)

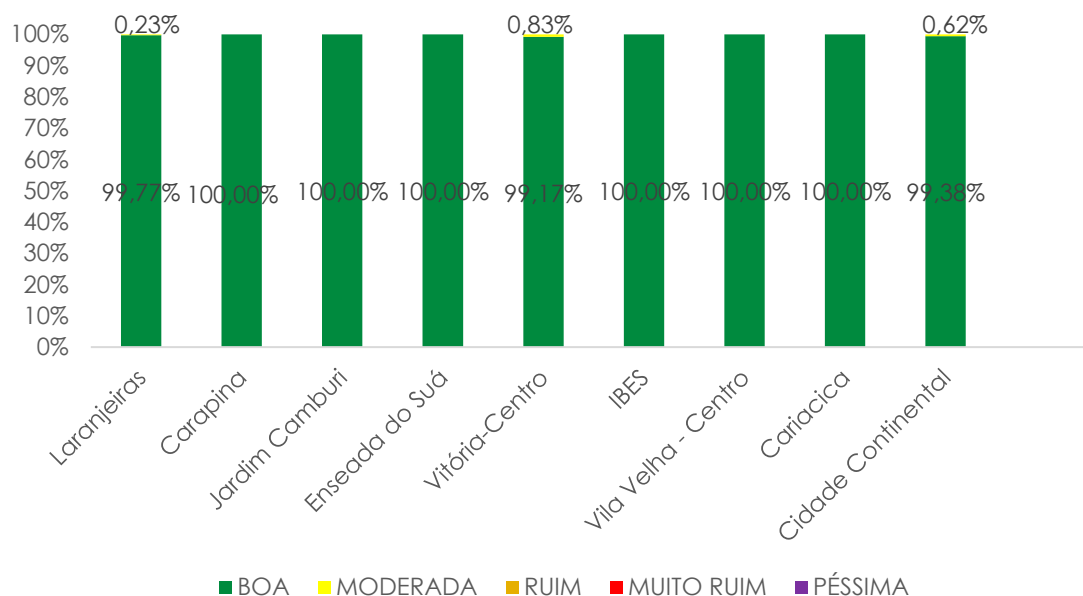
Pode-se observar a influência da direção do vento nos valores de concentração de CO monitoradas, sendo as maiores concentrações associadas ao quadrante N-E.

O registro histórico das médias anuais de CO monitoradas nas estações da RAMQAR pode ser visualizado no Gráfico 39.

Gráfico 39 - Séries históricas das médias anuais das concentrações de CO nas estações RAMQAr.

6.6 Índice da Qualidade do Ar (IQAr)

O Gráfico 40 apresenta a distribuição da classificação anual do IQAr, calculado a partir das concentrações dos poluentes medidos nas estações da RAMQAr.

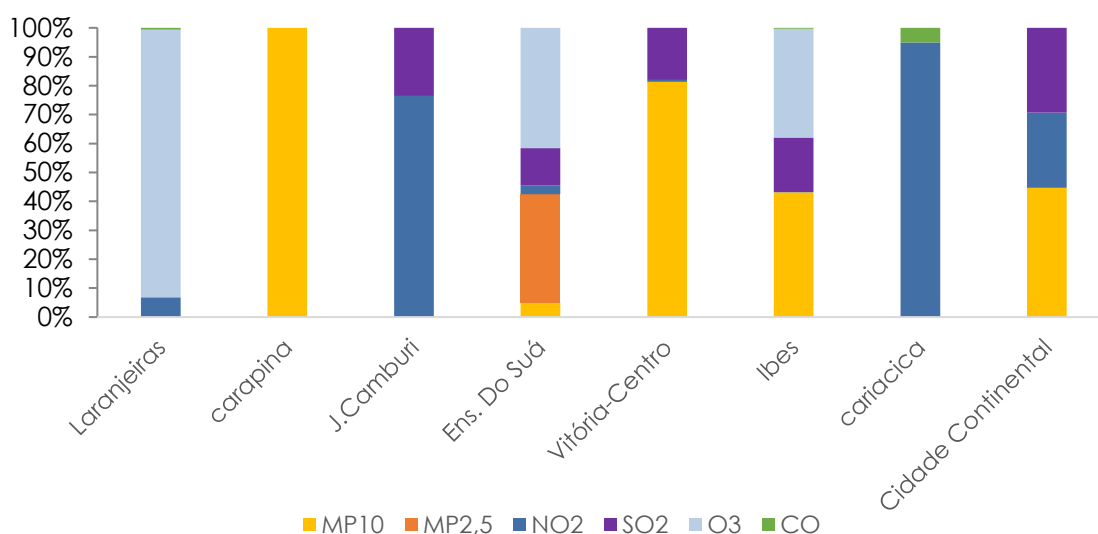
Gráfico 40 - Distribuição anual do IQAr por estações da RAMQAr.

Para o ano de 2021 não foi registrado nenhuma ocorrência de IQAr “Ruim”, “Muito Ruim” ou “Péssimo”. Neste ano, a qualidade do ar foi classificada, majoritariamente, como “Boa” e, em algumas vezes como “Moderada” para as estações de Laranjeiras, Vitória Centro e Cidade Continental.

O IQAr é calculado com base nas concentrações horárias de poluentes registradas nas estações, sendo divulgado o maior índice, ou seja, o pior resultado.

O Gráfico 41 apresenta, por estação, como os poluentes monitorados impactam no Índice de Qualidade do Ar (IQAr). Neste gráfico é possível verificar, em termos percentuais, quais são os poluentes que resultam nos maiores valores de Índices de Qualidade do Ar para cada estação, cabendo destacar que quanto maior o IQAr calculado pior será a classificação da qualidade do ar.

Gráfico 41 - Poluentes mais significativos para composição do IQAr por estação da RAMQAr.



A análise do Gráfico 41, como por exemplo, permite inferir que no ano de 2021, na estação de monitoramento Jardim Camburi (EMQAr – RGV3) ao poluente Dióxido de Nitrogênio (NO_2) pode ser atribuído cerca de 80% dos maiores índices horários de qualidade do ar calculados para a estação. Importante esclarecer que, atualmente, as estações componentes da RAMQAr não têm a mesma configuração para os parâmetros que monitoram.

7 Considerações Finais

O monitoramento da qualidade do ar é de suma importância para a gestão deste recurso ambiental, visto que, por meio dele, é possível obter um diagnóstico da situação ambiental e avaliar a efetividade de medidas ou políticas adotadas. Além disso, o monitoramento permite registrar um histórico, formando um banco de dados, de grande importância para pesquisas científicas das mais diversas, incluindo a associação de incidência de problemas de saúde com a concentração de poluentes no ar. Nesse contexto, o monitoramento da qualidade do ar é feito pelo IEMA por meio das estações da RAMQAr.

Em 2021, não foi registrada ultrapassagem do padrão de qualidade do ar vigente estabelecido pela meta intermediário 1 do Decreto nº 3.463-R/2013.

Mesmo que os dados de monitoramento da qualidade do ar indiquem a conformidade os valores monitorados com o padrão legal vigente, é importante avaliar como está a qualidade do ar frente aos valores recomendados pela OMS, uma vez que estes representam a melhor prática para assegurar saúde da população exposta, assim como configuram-se como metas de longo prazo (Padrão Final) estabelecidas nas legislações estadual e federal.

Dessa forma, comparando os dados de qualidade do ar monitorados no ano de 2021 com as **diretrizes da OMS**, verificou-se os seguintes eventos:

- Para o parâmetro $MP_{2,5}$, foram registradas ultrapassagens para as médias anual na estação Enseada do Suá.
- Para o parâmetro MP_{10} , foram registradas ultrapassagens para as médias de 24h nas estações de Cidade Continental, Ibes, Centro-Vitória e Carapina. Enquanto que para longa exposição (anual) houveram ultrapassagens das diretrizes OMS nas estações de Cidade Continental, Ibes e Vitória - Centro;
- Para o parâmetro SO_2 foi registrado que a diretriz da OMS de curta exposição foi ultrapassada em duas estações da RAMQAR sendo elas: Ibes e Enseada do Suá);
- Para o parâmetro Ozônio foram registradas ultrapassagens na estação Vila Velha – IBES e Laranjeiras para curta exposição;
- Para os parâmetros NO_2 e CO não foram registradas ultrapassagens às diretrizes das OMS.

Com base nos resultados apresentados neste relatório, verifica-se que, para maioria dos dados, os padrões nacionais e federais de qualidade do ar foram atendidos. Entretanto, ao considerar às diretrizes estabelecidas pela OMS, verifica-se que ações devem ser tomadas a fim de reduzir as concentrações dos poluentes na atmosfera.

Os resultados e discussões apresentados nesse relatório demonstram a importância da manutenção de uma rede de monitoramento da qualidade do ar ampla e operante, garantindo a obtenção de dados válidos e representativos em todo o período.

8 Referências

American Society For Testing Materials. ASTM D1739: Standard Test Method for Collection and Measurement of Dustfall (Settleable Particulate Matter), 1998 (re-aprovada em 2004).

Atlas Eólico: Espírito Santo. Odilon A. Camargo do Amarante; Fabiano de Jesus Lima da Silva; Paulo Emiliano Piá de Andrade. Vitória, ES: ASPE, 2009. Disponível em <http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/atlas_eolico/atlas_eolico_ES.pdf>.

Bastos, C.C.; Ferreira, N.J. Análise Climatológica da Alta Subtropical do Atlântico Sul. Congresso Brasileiro de Meteorologia, 15, 2008, São Paulo. Anais. São Paulo: SBMET, 2008. P. 612-619.

Cavalcanti, I. F. A.; Ferreira, N. J.; Dias, M. A. F.; Justi, M. G. A. Tempo e Clima no Brasil. São Paulo, Oficina de Textos, 2009.

Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB). Qualidade do ar no Estado de São Paulo, São Paulo, 2013.

Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB). Condições meteorológicas desfavoreceram dispersão dos poluentes em 2010. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/blog/2011/08/02/condicoes-meteorologicas-desfavoreceram-dispersao-dos-poluentes-em-2010/>>. Acesso em: 22 fevereiro 2020.

Companhia Espírito Santense de Saneamento (CESAN). Notícias: Cesan debate sobre meio ambiente em Comissão na Assembleia. 18/09/2017. Disponível em <https://www.cesan.com.br/noticias/cesan-debate-sobre-meio-ambiente-em-comissao-na-assembleia/>. Acesso em: 22 out. 2017.

Conselho Estadual de Proteção Ambiental. Deliberação Normativa Nº 01 de 26 de maio de 1981. Minas Gerais, Brasil, 1981.

Conti, M.M., Menegussi, L.R., Reis, N.C., Santos, J.M., Silva, F.J., Scandian, C. Chemical and morphological characterization of dustfall (dry deposition) in Vitória-ES, Brazil. European Aerosol Conference, Karlsruhe, 2009.

DATASUS - Departamento de Informática do SUS. Taxa de analfabetismo, 2010. Disponível em: <<http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/tabcgi.exe?ibge/censo/cnv/alfbr.def>>.

Department of Environmental Conservation of New York (DECNY). Disponível em: <<http://www.dec.ny.gov/regs/2492.html>>. New York, 2009.

Department of Environmental Quality Montana (DEQM). Disponível em: <<http://www.deq.mt.gov/dir/legal/Chapters/Ch08-toc.mcp>>. Montana, USA, 2007.

Farfel, M. R., Orlova, A.O., Lees, P.S.J., Rohde C., Ashley, P.J., Chilsom, J.J., A study of urban housing demolition as a source of lead in ambient dust on sidewalks, streets, and alleys. Environmental Research 99, 204-213, 2005.

Governo do Estado do Espírito Santo. Decreto nº 3.463-R, de 16 de dezembro de 2013. Estabelece novos padrões de qualidade do ar e dá providências correlatas, Estado do Espírito Santo, 2013.

Hu, T. et al. Morphology and elemental composition of dustfall particles inside emperor Qin's terra-cotta warriors and horses museum. China Partic. Vol. 4, Nº 6, 346-351, 2006.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Panorama. Disponível em: < <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/panorama>>. Acesso em: maio/2022.

Instituto Jones dos Santos Neves (IJSN). Mapeamento das Áreas Periurbanas do Espírito Santo. Vitória, ES, 2011.

Instituto Jones dos Santos Neves (IJSN). Indicador Trimestral de PIB do Espírito Santo. IV Trimestre de 2021. Vitória, ES, 2021. Disponível em: < <http://www.ijsn.es.gov.br/component/attachments/download/7809>>. Acesso em: maio/2022.

Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Dados Climatológicos. Disponível em: < <https://portal.inmet.gov.br/normais> >. Acesso em: maio/2022

Köppen, W. 1936. Das geographische System der Klimate. Gebr. Borntraeger, 1-44. Disponível em: < http://koeppen-geiger.vu-wien.ac.at/pdf/Koppen_1936.pdf>.

Lei Complementar Estadual nº 58, de 21 de fevereiro de 1995. Dispõe sobre a criação da Região Metropolitana da Grande Vitória, Vitória – ES, 1995.

Mendonça, F., Danni-Oliveira, I. M. Climatologia: noções básicas e climas do Brasil. São Paulo. Editora Oficina de Texto. 206p. 2007.

Ministério do Meio Ambiente (MMA). Guia Técnico para o Monitoramento e Avaliação da Qualidade do Ar. Brasília, 2019. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/centrais-de-conteudo/mma-guia-tecnico-qualidade-do-ar-pdf>.

Minuzzi, R.B.; Sedyama, G. C.; Costa, J. M. N.; Vianello, R. L. Influência da La Niña na estação chuvosa da Região Sudeste, Revista Brasileira de Meteorologia, São José dos Campos, v.22, n. 3 p.345-353, 2007.

Organização Mundial da Saúde (OMS). OMS divulga estimativas nacionais sobre exposição à poluição do ar e impacto à saúde. 2000. Disponível em: <http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0005/74732/E71922.pdf>. Acesso em: 27 Set. 2018.

Organização Mundial da Saúde (OMS). OMS divulga estimativas nacionais sobre exposição à poluição do ar e impacto à saúde. 2005. Disponível em: < http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0005/78638/E90038.pdf?ua=1>. Acesso em: 27 Set. 2018.

Organização Mundial da Saúde (OMS). Ambient air pollution: A global assessment of exposure and burden of disease. 2016. Disponível em: <<http://www.who.int/phe/publications/air-pollution-global-assessment/en/>>. Acesso em: 11 Out. 2018.

Organização Mundial da Saúde (OMS). Air pollution data portal. 2020. Disponível em: < <https://www.who.int/data/gho/data/themes/air-pollution>>. Acesso em: 19/05/2022.

Primault, B. Wind measurement. In: SEEMANN, J.; CHIRKOV, Y.I.; LOMAS, J.; PRIMAUT, B. Agrometeorology. Heidelberg: Springer-Verlag, 1979.

Resolução CONAMA nº 491/2018, de 19 de novembro de 2018. Dispõe sobre qualidade do ar. Revoga a Resolução Conama nº 3/1990 e os itens 2.2.1 e 2.3 da Resolução Conama nº 5/1989.

Sant'anna Neto, J. L. Decálogo da climatologia do Sudeste Brasileiro. Rev. Bras. Climat., v. 1, n. 1, p. 41-60, 2005.

Vallack H. W., Shillito, D. E. Suggested guidelines for deposited ambient dust. Atmospheric Environment, vol. 32(16), p. 2737-2744, 1998.

Varejão-Silva, M. A. Meteorologia e climatologia. 2. ed. Recife, 449 p., 2006. Disponível em:<
https://icat.ufal.br/laboratorio/clima/data/uploads/pdf/METEOROLOGIA_E_CLIMATOLOGIA_VD2_Mar_2006.pdf>.

Vianello, R. L., Alves, A. R. Meteorologia Básica e Aplicações. Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 1991.

World Health Organization (WHO). Air quality guidelines global update 2005. Genebra, 2006.

World Meteorological Organization (WMO). Technical Regulations, Vol. I. WMO Publication Nº 49. Geneva, Switzerland, 1984.

Apêndice A – Representatividade dos Dados

Representatividade													
Estação	Bairro	PM ₁₀		PM _{2,5}		SO ₂		NO ₂		CO		O ₃	
		Válido	%	Válido	%	Válido	%	Válido	%	Válido	%	Válido	%
RAMQAr 1	Laranjeiras	N	61,88%	-	-	S	97,32%	S	97,25%	S	97,32%	N	7,75%
RAMQAr 2	Carapina	S	96,34%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
RAMQAr 3	Jardim Camburi	S	97,24%	-	-	N	63,67%	S	93,87%	-	-	-	-
RAMQAr 4	Enseada do Suá	S	89,97%	N	48,90%	S	95,54%	S	97,20%	S	96,64%	N	47,81%
RAMQAr 5	Centro	S	97,18%	-	-	S	77,49%	N	72,04%	S	97,14%	-	-
RAMQAr 6	Ibes	S	91,38%	N	58,11%	S	93,39%	S	94,57%	S	94,16%	N	60,52%
RAMQAr 7	Centro	S	82,16%	-	-	N	0,53%	-	-	-	-	-	-
RAMQAr 8	Vila Capixaba	N	50,15%	-	-	S	90,87%	S	96,70%	S	97,50%	N	7,98%
RAMQAr 9	Cidade Continental	N	0,00%	-	-	N	59,43%	N	45,89%	-	-	-	-

Representatividade - Meteorologia															
Estação	Bairro	Precipitação		Temperatura		Pressão ATM		Radiação		Umidade		Ventos			
		Média anual	%	Média anual	%	Média anual	%	Média anual	%	Média anual	%	Média anual (Velocidade)	Média anual (Direção)	% (Velocidade)	% (Direção)
RAMQAr 2	Carapina	0,18	98,22%	23,91	98,29%	1013,78	98,23%	207	98,24%	80,32	98,29%	1,22	157,1	98,34%	98,34%
RAMQAr 4	Enseada do Suá	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,93	137,86	93,81%	93,64%
RAMQAr 6	Ibes	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,56	171,4	92,52%	95,53%
RAMQAr 8	Vila Capixaba	-	-	26,22	96,05%	-	-	-	-	72,36	66,39%	1,78	139,82	97,64%	97,85%

SEAMA - SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS

Rua Dr. João Carlos de Souza, 107, Barro Vermelho - CEP: 29057-530

Vitória, Espírito Santo

Tel.: (27) 99278-2076

E-mail: gabinete@seama.es.gov.br

www.seama.es.gov.br

IEMA - INSTITUTO ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS

Rodovia BR 262, Km 0, s/nº, Jardim América - CEP: 29140-130

Cariacica, Espírito Santo

Tel.: (27) 3636-2500

E-mail: atendimento@iema.es.gov.br

www.iema.es.gov.br

CQA - COORDENAÇÃO DE QUALIDADE DO AR E ÁREAS CONTAMINADAS

Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos - IEMA/Prédio 2

Tel.: 3636-2590/3636-2546

E-mail: cqai@iema.es.gov.br